



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

# 도시 토사위험취약지구에 대한 방재기술의 공간 해석 및 설계

－ 관악구 남현동 일대 산지 및 생활권을 중심으로 －

Spatial Analysis and Design of Disaster Prevention  
Technologies for Urban Landslide Risky Areas

2019 년 8 월

서울대학교 대학원

협동과정 도시설계학

전 혜 지

도시 토사위험취약지구에 대한  
방재기술의 공간 해석 및 설계  
- 관악구 남현동 일대 산지 및 생활권을 중심으로 -

지도 교수 강 준 석

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2019년 8 월

서울대학교 대학원

협동과정 도시설계학

전 혜 지

전혜지의 공학석사 학위논문을 인준함

2019 년 8 월

위 원 장 김 세 훈

부위원장 강 준 석

위 원 권 영 상



## 초 록

2014년 기후 변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)의 5차 보고서 출간 이후 기후변화로 인한 극한기후현상의 경각심과 함께 적응 차원의 재난 예측 및 대비에 대한 관심이 고취되었다. 토사 재해는 실질적 발생의 원인이 되는 외적 요인인 강우의 형태가 기후변화로 인해 대규모화되면서 위험이 심각하게 증대되고 있다. 이는 갑작스러운 대규모 토사 재해의 발생을 막기 위해서는 그 피해를 적절히 예측하고 미리 적응하는 방안들을 준비해야 함을 시사했다.

이에 본 연구에서는 토사 재해의 주된 발생을 기하 급수적으로 변화하는 기후변화 행태에 따라 증가되는 '강우'에 주요 원인을 두고 분석하였다. 연구의 목적은 기후변화 단계에 따라 변화하는 토사의 양상을 살펴보고, 이에 따라 산지 토사유출이 생활권에 미치는 영향을 고려하여 회복에 탄력적인 토사재해 방재기술의 배치 설계를 제안하는 것이다.

연구의 공간적 대상지는 서울시 내 관악산과 우면산 자락 사이에 위치한 '서울특별시 관악구 남현동' 일대로, 이 지역은 생활권의 지대가 낮고 주변의 산들이 높아 토사 재해 피해 위험이 높아 재해 노출도가 높은 곳이다. 분석은 연도별 강우량과 토지이용을 고려한 토사유출량을 고도화한 합리식을 통해 구하고, 이를 배치하여 설계를 제안하는 방법으로 진행하였다.

분석에 사용된 강우 값은 대상지에서 가정 인접한 남현동관측소에서 기록된 관측 일우량 데이터를 사용하였다. 토사의 값은 대상지의 계측값을 사용하여 추정해야 하나 측정값이 없어 비슷한 여건을 가진 부산시와 세종시의 최근 3년간 평균 측정데이터 결과값에서 토사유출계수를 도출하여

대상지 내 강우실측자료에 적용하였다. 기후변화의 기준은 IPCC에서 제시하고 있는 RCP 8.5 수준인 ‘현재 수준에서 저감없이 재난이 변화가 진행될 경우’로 가정하고 2021년부터 2100년까지 10년단위의 시기별 예측값을 산출하였다. 이를 바탕으로 설정된 저수량으로 각 유역(Catchment)별 토사 재해 방어기술을 배치하였다. 유역은 ArcGIS 프로그램의 플러그인 Arc Hydro로 분석하여 규모를 산정하였다.

분석 결과 남현동의 유역은 총 22개소로 분석되었다. 남현동 내에 위치한 18개의 유역과 서초구 방배동과 중첩되어 나타난 4개의 유역으로 구분할 수 있었다. 분석된 유역을 산지 표고와 경사향에 따라 상, 중, 하부와 생활권으로 구분하여 상부 8개소, 중부 4개소, 하부 5개소로 구분할 수 있었다. 개별 유역에서 발생할 수 있는 총 유출량을 서울시 기후변화센터 관악구 남현동 기준의 기후변화 경로 RCP 8.5를 적용하여 살펴본 결과, 2021년부터 2100년까지 토사유출량(  $m^3/day$  )은 지속적인 증가추세를 보이며 2051년에서 2060년구간에 전체 유역으로부터 1,808.8 (  $m^3/day$  )의 가장 높은 유출량을 보일 것으로 예측되었다. 산지 상중하로 나누어 살펴보았을 때 상류에서 가장 큰 유출량을 보일 것으로 예측되었고, 중류에서 하류로 갈수록 유출량의 분포가 더 적게 나타났다. 이는 산지 상부가 동일한 지형적 특징을 지니고 있는 면적이 크고 유출비가 다른 용도에 비해 크기 때문에 이와 같이 나타난 것으로 보였다.

각 유역의 유출 특성을 고려하여 재난의 극값을 기준으로 하여 설계 저사 목표량을 설정하고 세부 마스터플랜에서 기술 배치를 제안하였다. 많은 양의 토사가 유출될 것으로 예측된 산지 상부에는 사방댐과 같은 대규모 저사 시설을 중심으로 배치하고, 산지 중부는 토사의 이동 특성을 고려하여

침사지와 같이 토사의 유속을 감소시킬 수 있는 기술을 중심으로 배치하고, 산지 하부의 경우 생활권이 인접해 있기 때문에 위해가 될 수 있는 기술은 피하되 미적인 함양과 동시에 저류 및 저사 기능을 수행할 수 있는 녹화 시공과 자연침사지를 배치하도록 제안하였다. 최종적으로 해당 제안을 적용한다면 2100년까지 발생할 수 있는 토사 재해의 위험 중에서 가장 높은 위험이 있을 것으로 예측된 2051~2060년 시점의 재해를 예방할 수 있는 효과를 보였다.

연구를 통해 얻은 시사점은 다음과 같다. 첫째, 유역의 범위 설정에 있어서 산지 뿐 아니라 생활권 인접 유역에 대해 폭넓게 재난을 예측할 수 있었다. 둘째, 기후변화 관점에서 발생할 수 있는 토사량을 장기간 예측함에 의의가 있다. 셋째, 방재 기술 설계의 가이드라인을 예측된 재난의 양을 고려하여 통해 시각적으로 구현하여 제시할 수 있었다.

본 연구는 적응 측면에서 토사 재해 피해를 공간 단위로 예측하고 구체적인 방법론을 통해 도시 설계적 차원으로 해석 및 정량화 하였다는 점에서 의의가 있다. 그러나 본 연구가 도시설계나 토목공학 분야를 접목하는 연구였기에 연구 방법론의 포괄적인 적용을 중심으로 진행하여 토사유출 방법론의 고찰 및 기술 상세 설계 등의 정량화가 다소 미흡하였다. 향후 고도화된 토사 재해 예측 기법의 적용과 다양한 기후변화 시나리오를 고려한 상세한 근거 기반의 재난대응형 도시설계연구가 요구된다.

**주요어** : 기후변화, 토사재해, 도시설계, 방재설계, ArcGIS, RCP8.5

**학 번** : 2017-28348

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 범위 및 방법 .....	3
1.3 용어 정의.....	5
제 2 장 이론적 고찰 및 차별성 .....	6
2.1 선행연구 고찰.....	6
2.2 정책 · 법제적 고찰.....	10
2.3 연구의 차별성 및 필요성 .....	12
제 3 장 연구 대상지 .....	13
3.1 선정 과정 .....	14
3.2 특징.....	17
3.2.1. 지리적 특징 .....	17
3.2.2. 물리적 특징 .....	18
3.2.3. 기후 특징 .....	20
3.3 현장 조사.....	24
3.3.1. A 유 역 .....	26
3.3.2. B 유 역.....	28
3.3.3. C 유 역.....	29
제 4 장 방법론 .....	31
4.1 합리식 시우량법 .....	32
4.1.1. 강우유출량의 정의 - 합리식 시우량법.....	32
4.1.2. 강우유출 매개변수 .....	34

4.2 토사유출량 산출 모델 .....	36
4.2.1. 토사 유출량 측정 데이터 분석.....	36
4.2.2. Pearson 의 상관분석(Correlation Analysis) 결과 .....	39
4.2.3. 토사유출 매개변수 .....	41
4.3 유역(Catchment) 분석 .....	43
<b>제 5 장 분석 결과.....</b>	<b>47</b>
5.1 유역 분석 결과 .....	47
5.2 유역 인과관계 설정 .....	48
5.3 토사유출량 .....	51
<b>제 6 장 종합 설계 및 효과.....</b>	<b>57</b>
6.1 마스터플랜 .....	57
6.2 부분 계획도 .....	63
6.2.1 산지 상부 .....	63
6.2.2 산지 중부 .....	66
6.2.3 산지 하부 .....	69
6.3 최종 효과.....	75
<b>제 7 장 결 론.....</b>	<b>77</b>
 참고문헌 .....	 79
부 록 .....	85
Abstract.....	95



## 표 목차

표 1 연구 용어 정의 .....	5
표 2 분류에 따른 선행연구 내용.....	9
표 3 토사재해 관련 법률 및 관련부처.....	11
표 4 토사재해 위험 등급 우선순위표.....	16
표 7 남현동 건물의 용도 현황 .....	19
표 5 5개년(2013-2018) 7월 강수량 통계 (남현동 관측소).....	20
표 6 RCP 시나리오 단계 (IPCC 5차 평가 보고서, 2014) .....	21
표 8 토지이용별 총괄유출계수의 범위 (ASCE,1992).....	34
표 9 연구에 사용한 유출 계수 .....	35
표 10 세종시 및 부산 만덕 실측+ 모니터링 DB .....	37
표 11 기술통계량.....	39
표 12 기술통계량.....	39
표 13 남현동 유역의 기후변화 시나리오별 토사유출량(2021~2060년) .....	52
표 14 남현동 유역의 기후변화 시나리오별 토사유출량(2061~2100년) .....	53
표 15 유역의 기후 환경 별 계획 목표 설정.....	61

## 그림 목차

그림 1 연구의 흐름도 .....	4
그림 2 관악구 남현동의 위치 .....	13
그림 3 서울시 산사태위험지도 (산림과학원, 2014) .....	15
그림 4 관악구의 연강수량 전망과 증감율(%) (RCP 8.5) .....	22
그림 5 시간당 30mm 이상의 호우 일수 (1924-2018) .....	23
그림 6 현장 답사 지역 .....	25
그림 7 A 유역의 현장사진 .....	26
그림 8 B 유역의 현장사진 .....	28
그림 9 C 유역의 현장사진 .....	29
그림 10 연구 방법론 요약 .....	31
그림 11 Arc Hydro Tool의 알고리즘 .....	43
그림 12 유역(Catchment)의 분석과정 .....	45
그림 13 남현동 일대 대상지의 유역분석 결과 .....	47
그림 14 남현동 유역의 경사향 .....	49
그림 15 남현동 유역의 표고 .....	49
그림 16 산지 표고에 따른 상중하 구분 .....	50
그림 17 전체 유역의 토사유출량 .....	54
그림 18 산지 유역 및 시점별 토사유출량 비교 .....	55
그림 19 종합 배치계획도 .....	58
그림 20 산지 상부 기술 배치 세부 .....	63
그림 21 도면의 정면도 .....	64
그림 22 G3 사방댐의 측면도 .....	64
그림 23 산지 중부 기술 배치 세부 .....	66
그림 24 파종공 식재 개념 단면도 .....	67

그림 25	파종공 식재 세부 개념도 .....	67
그림 26	투수형 잔디블록 개념도 .....	68
그림 27	산지 하부 생활권 유역 구분 .....	69
그림 28 A	유역 기술 세부 배치도 .....	70
그림 29	주차공간 연계 저류 공간 마련 개념도 .....	71
그림 30	계비온 앞음벽의 개념도 .....	71
그림 31 B	유역 기술 세부 배치도 .....	72
그림 32	건식 침사지 시설 규격 예시 .....	73
그림 33	낙성방지망 상세 예시도 .....	73
그림 34 C	유역 기술 세부 배치도 .....	74
그림 35	기후변화 시기별 토사유출 및 영향 유역 .....	76

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 연간 강수량의 약 50% 이상이 하절기에 집중되어 있는 기후 형태를 보인다(기상청, 2018). 때문에 비규칙적인 돌발성 형태인 집중 강우나 게릴라성 강우로 인해 홍수나 산사태와 같은 2·3차의 재난이 이어져 매해 가중된 피해가 발생되고 규모도 점차 증대되고 있다. 2014년 보고된 IPCC 5차 보고서에서는 기후변화의 단계가 인간의 행태로 인해 점점 더 빠른 속도로 변화되고 있으며, 이에 발맞추어 이제는 회복에 탄력적인 행태로서 적극적인 적응 정책이 필요한 시점임을 시사한 바 있다.

2014년 이후 정부는 IPCC 5차 보고서의 기후변화 시나리오를 채택하여 국가적 취약성 분석 뿐 아니라 적응을 위한 구체적인 방안을 연구해 오고 있다. 최근 포항과 경주의 지진, 강원도 인제시 산불과 같은 대규모 피해가 잇달아 발생하면서 재난에 대한 국가적 관심은 더욱 무거워지고 있다. 이러한 피해로 인해 한 번 손상된 자연은 지반이나 식생과 같은 환경적 요인의 변화로 인해 상대적으로 더 큰 재난의 재발생으로 이어질 수 있다. 후속 재난이 발생할 가능성이 있으므로 사전에 한 번의 재난을 막을 수 있는 적응 대책이 중요하게 사려된다.

본 연구에서 다룰 토사 재해는 대부분의 피해가 집중 강우나 지진과 같은 외력이 있을 경우에 연쇄적으로 발생해왔다. 2011년 우면산 산사태의 경우, 7월 한 달 동안 발생한 강우량은 연간 발생한 총 강수량의 60퍼센트 이상에 달했다(산림청, 2011). 집중 강우와 함께 총 16명의 사상자를 불러온 대규모 도심지 산사태로 재난에 대한 경각심을 고취시키면서 적응 차원의 대책마련에 대한 연구 필요성을 시사했다. 이 대규모

모의 산지 토사유출로 인한 산사태는 자주 발생하지 않는 재난에 대한 안전 불감증으로 그 피해가 더욱 컸다. 대규모 재난에 대비하는 것뿐 아니라 지역의 취약성을 분명히 파악하고 작은 토사의 유출을 저감하는 것부터 큰 재난을 예방하는 시작점이 될 수 있다.

산사태가 빈번하게 발생하는 곳은 산지 지역이지만 실제로 인명 및 재산 피해가 크게 발생하는 곳은 산지 인근의 생활권이다. 전 국토의 60% 이상이 구릉지와 산지로 이루어져 있고, 서울의 경우 부동산이나 토지의 가격으로 인해 산지 인근 생활권 개발이 더욱 활발히 발생한다.

따라서 본 연구에서는 생활권 인근의 ‘토사 재해’에 대해 강우로 인한 토사의 유출이 실제로 피해를 입힐 수 있는 생활권 인근 산지에서 어떤 양태로 발생하는지, 피해를 입을 수 있는 주거와 토지 용도는 어떠한지 살펴보고 이에 대한 효과적인 대안에 대해 탐구하고자 한다.

강우로 인해 산지에서 유출되는 토사 재해에 적응하는 방재 기술의 적용을 위해서는 기술 및 시설을 어느 정도의 규모로 어디에 배치하는지 파악하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구의 목적은,

**토사 재해를 저감하고 재난 발생에 대해 사전에 적응할 수 있는 방재 기술의 규모를 고려하여 배치하고 이를 적용했을 때의 효과를 정량화하여 분석하는 것이다.**

궁극적으로 산지의 토사유출로 인해 발생하는 크고 작은 피해, 이를테면 지속적 토사유출로 인한 배수구의 막힘 현상부터 산사태나 사면의 붕괴, 토석류의 유출 등의 대규모 재난까지, 산지 인근의 생활권에 미칠 수 있는 영향을 사전에 예방하면서 주민들에게 유익이 되는 도시적 차원의 구체적 대응 체계를 구축하여 공학적 관점과 도시 설계적 관점의 접점을 모색하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 관악구 남현동으로 설정하였다. 이는 산사태 위험 분석을 통해 서울시 내 인구 밀도가 높은 생활권 중에서도 자료의 검증 정도가 높고 위험 등급이 높은 지역을 우선순위로 하여 설정하였다. 시간적 범위는 기후변화시나리오 RCP 8.5 단계 시나리오를 중심으로 과거 남현동 관측소의 기후이력정보를 대입하여 2021~2100 년까지의 확률을 살펴보고자 하였다.

연구의 공간적 범위 안에서 2100 년까지 발생될 토사유출량을 구하기 위하여 대상지를 첫째, Arc GIS 프로그램을 이용하여 지역 내 유역(Catchment)를 분류하고, 둘째, 강우에 의한 토사량을 산출하고, 셋째, 이를 바탕으로 유역의 유출 특성을 파악한 뒤, 최종적으로 파악된 유역의 관계에 산지의 유역을 구분하여 방재 기술의 규모와 배치를 제안한다. 토사유출량을 산정하기 위해 분석에 사용된 데이터 중 강우 및 토사의 실측 모니터링 데이터의 경우, 서울시 관악구 남현동의 측정치가 없어 부산시와 세종시의 3 개년 모니터링 데이터를 사용하였다.

최종적으로 상위 과정을 통해 결정된 유역에 생활권 내에 피해를 미칠 수 있는 토사 재해를 저감하는 방재시설들을 배치하고, 그 효과를 살펴보고자 한다.

그림 1 에 요약된 흐름도와 같이, 제 1 장에서는 ‘토사위험취약지구에 대한 방재 기술’ 을 공간적으로 해석 및 설계하는 배경과 목적에 대해 명시하고, 연구의 공간 및 시간적 범위와 방법론에 대해 개괄한다. 제 2 장에서는 선행 연구의 흐름을 통해 살펴본 한계와 정책 및 법제적 차원에서 폭넓게 다뤄지지 못하고 있는 재해관련 법의 일각에 대해 주목하고, 유형화된 3 가지의 연구의 한계를 본 연구의 차별성으로 제시한다. 연구에 사용된 용어를 간략하게 정리하여 1 장

3 절에서 개괄한다. 제 3 장에서는 대상지에 대한 개략적인 특징 중에서도 연구에서 주요하게 다루었던 지리적 특징과 기후 특징 그리고 개략적인 물리적 특징에 대해 간단히 설명하고, 현장조사 후 발견한 점들에 대해 서술한다. 제 4 장에서는 최종 결과에 이르기까지 사용한 연구의 방법론을 소개하고 제 5 장에서는 3, 4 장을 통해 도출된 유역의 예측된 유출 토사 형태에 대해 살펴본다. 이로 설정된 목표를 제 6 장에서 종합 계획과 부분계획으로 나누어 시각화하여 최종적인 효과를 규명하여, 제 7 장에서 결론을 밝힌다.

[1장] 서론	연구의 배경 및 목적	연구의 범위 및 방법
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구의 배경 및 목적</li> <li>- 연구의 범위 및 방법</li> <li>- 용어 정의</li> </ul>	<div> <div>선행연구 고찰 (한계점)</div> <div> <div>토사재해 발생 내적요인에 의한 취약성 평가</div> <div>기후변화 정성적 대응전략 및 체계</div> <div>도시 토사 재해 사례 분석</div> </div> <div>현행 법령 및 정책, 과거 재난 이후 대응체계 파악</div> </div>	
[2장] 이론적 고찰 및 차별성		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 선행 연구 고찰</li> <li>- 정책, 법적적 고찰</li> <li>- 연구의 차별성 및 필요성</li> </ul>	<div>강우에 의한 토사재해의 정의</div> <div>3개년 모니터링 근거 기반의 수치지적 해석 - 토사유출계수의 개발</div> <div>연구의 차별성 및 필요성</div>	<div>부산 만덕, 세종시 3개년 강우 및 토석류 유출 모니터링 데이터 기반</div> <div>부산 만덕, 세종시 3개년 강우 및 토석류 유출 모니터링 데이터 기반</div> <div>강수      규모와 배치</div>
[3장] 연구 대상지		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 선정과정</li> <li>- 특징</li> <li>- 현장 조사</li> </ul>	<div>연구 대상지 선정 (관악산 생활권 - 관악구 남현동 일대)</div> <div>대상지 특징 - 지리적, 물리적, 기후 특징</div> <div>사진 현장답사</div>	<div>토사재해위험산지 우선순위도출, Arc GIS, 선행연구 분석</div> <div>토사재해위험산지 우선순위도출, Arc GIS, 선행연구 분석</div> <div>현업 전문가와 함께 동행</div>
[4장] 방법론		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 합리식 시우량법</li> <li>- 토사유출량 산출 모델</li> <li>- 유역 분석</li> </ul>	<div>유역별 현장 분석</div> <div>토사재해 취약지 우선순위 파악</div> <div>환경 인자를 고려한 사진 분석 및 Catchment 분류</div>	<div>전문가와 함께 현장 답사</div> <div>Arc GIS, 선행연구 분석</div> <div>ArcGIS, Arc Hydro</div>
[5장] 분석 결과		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유역 인과관계 설정</li> <li>- 토사유출량</li> </ul>	<div>기후변화에 따른 토사 유출량 예측 결과</div> <div>효과 정량화를 통한 검증</div>	
[6장] 종합 설계 및 효과		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 마스터플랜</li> <li>- 부분계획도</li> <li>- 최종 효과</li> </ul>	<div>배치 설계 및 도시적 대안</div> <div>최종 효과</div>	<div>공간 획적 설계</div> <div>배치에 의한 효과 정량화</div>
[7장] 결론	연구 요약 및 의의	

그림 1 연구의 흐름도

### 1.3 용어 정의

표 1과 같이 연구에 사용된 강우와 토사 재해와 관련된 용어들을 정리하였다. 재해의 정량화를 위해 강우, 토사와 관련하여 사용하는 용어들의 정의를 중심으로 명시하였다. 강우량의 경우, 연구에서 사용한 24시간 단위의 일우량, 1시간 단위의 시우량으로 분류하여 명시하였고, 이와 관련하여 강수 및 강우 강도, 토사유출량, 토사유출계수, 가정최대유량, 최대시우량 등에 대해 참고하여 간략히 정의하였다.

표 1 연구 용어 정의

용어 (단위)	정의
강우량(mm/h)	단위시간당 내린 비의 양을 일컬음. 시간 단위에 따라 나뉨
가정최대유량( $m^3/sec$ )	일정 유역면적 내에 발생할 수 있는 초당 부피의 유량
최대시우량( $m^3/h$ )	시간당 최대 강수량
강우강도(mm/h)	mm/h의 시간당 발생한 강우의 최대값
토사유출량( $m^3/h$ )	단위 시간 동안 발생한 토사의 체적량
토사유출계수	강우로부터 발생하는 토사의 비를 나타내는 계수
강수강도	연강수량을 80mm이상의 강우 발생일로 나눈 값
호우일수	연간강수량을 1mm이상의 강우 발생일로 나눈 값



## 제 2 장 이론적 고찰 및 차별성

### 2.1 선행연구 고찰

선행연구를 통하여 도시 토사 재해에 대한 기존 연구의 흐름은 표 2과 같이 크게 3가지의 카테고리로 분류하였다.

- 1) 분석 모델의 유형별 대상유역에 대한 심층적 유출정량화 연구분야
- 2) 토사재해 유발의 외적 요인의 임계치를 다룬 연구분야
- 3) 산사태 이력정보를 바탕으로 한 내적 취약요인에 대한 연구분야

토사유출 및 유실량은 대부분 복합적인 내적 요인이 작용하고 있기 때문에, 기준값에 대한 연구나 가중치 등의 내적 인자를 고려하는 분석이 이루어진다. 그 중에서도 RUSLE 모델을 사용한 분석이 많았다(Renard et al. 1991). Amiya et al. (2019) 은 유역에서의 토양의 유실량을 RUSLE 모델과 함께 FR 모델을 구축하여 결과를 비교 검증하였다. 인도의 Pathro 강 유역에서 RUSLE 모델에 의해 예측된 연간 토양의 유실량과 FR 모델을 통한 토양 유실 위험이 높은 잠재 지역을 도출하였다는 점에서 정량화된 유실량을 환경요건을 통해 예측하였다. 국내에서는 Kim et al. (2002)이 GIS와 RUSLE을 이용하여 삽교호 유역의 토사 유실량을 산정하고자 하였다. 유역내 공간 자료를 활용하여 유실 공식에 유사 이동 분석과정을 더해 최종 지점별 유실량을 분석하였다. 그러나 RUSLE을 사용한 연구는 대부분 세부 산림 하천이나 호수의 유역에 대해 심층적인 분석이 이루어졌다. 또한, 이러한 유실이 토사재해의 발생 가능성보다는 유실로 인한 하천의 비점오염이나 오염물질의 유출저감을 목적으로 하는 경향이 있다.

한편, 내적 요인보다 주요 유발 요인인 강우에 의한 산사태 발생 특성과 요인에 대해서도 연구가 이루어졌다. yang et al. (2007) 은 강우조

건이 산사태에 미치는 영향에 대해 공간데이터 분석을 통해 검증하였다. 계층적 분석과정(analytic hierarchy process; AHP)를 통해 구분한 토양 인자별 경중률을 설정하고, 토성별 간극비와 포화시 최대함수비를 산정하여 강우조건에 따라 수분상태와 경중률의 차이를 검증함으로 산사태 취약지를 밝히고자 하였다. Ham. (2014)은 시간에 따라 가중되는 강우의 양이 산사태 발생에 미치는 영향을 규명하며 기존 예보 제도의 적정성에 대해 검증하였다. 예보 기준을 위한 위험 정도 산정을 위하여 각 인자의 영향 기여 정도를 밝혔다. 현재 산사태 유발의 기준은 강우 주의보 및 경보를 기준으로 설정되지만, 실제 산사태 발생 임계치는 이와 다소 차이가 있음을 규명하였다.

또한, 산사태 발생 이력정보 등을 이용하여 토사재해에 취약한 공간적 분포를 연구하는 흐름이 있었다. Moon et al. (2016)는 GIS 프로그램을 활용하여 전국의 산사태 이력을 구분하여 기 발생 이력에 따라 취약성 유형을 분류하였다. 각 타입은 도시의 규모, 인구밀도, 산사태 위험등급의 분포로, 각 유형별 차이를 검증함으로 지역별 취약도를 밝혔다. Cha et al. (2018)은 수도권 지역의 집중호우 경향 데이터를 수집하여 집중호우에 따른 산사태 발생의 위험성을 분석하였다. 영향인자를 지형공간인자와 기상인자로 나누어 지질학적 특성과 기후 특성을 함께 고려하고자 하였다. 예측값에 대한 구체적 대안이나 실행 방안을 제시하는 것보다 예측과 영향을 중심으로 취약성을 면밀히 밝히고자 하였다. Woo et al. (2014)은 산사태 발생 이력 정보를 회귀 분석하여 가중 인자를 도출하고 전국의 산사태 위험 지도를 구축하였다. 분석에 사용된 인자는 기존 발생 이력을 중심으로 하여 주로 발생지의 내적 인자를 중심으로 결과를 도출하였다.

유역에서 발생하는 토양의 유실량을 측정하거나 검증하는 연구는, 대부분 소규모 유역과 대상지를 중심으로 하고 있고, 대규모 재난 측면의 산사태 분석을 위한 예측은 대상 규모는 상대적으로 크지만 연구 별 활용 인자나 가중 값들이 연구마다 상이하다는 한계점이 있다. 이는 지형적 요인과 발생의 원인이 되는 외적 요인이 지역마다 달라 세부 자료가 많이 구축되어 있지 않기 때문이다. 따라서 주요 발생 원인에 대해 분석하면서 어느 정도의 영향을 미치는지 일반화하여 적용한 대안을 살펴볼 필요가 있다.

표 2 분류에 따른 선행연구 내용

분류	저자	논문제목 및 내용
유출 정량화 연구	H. Teng et al. (2018)	Current and future assessments of soil erosion by water on the Tibetan Plateau based on RUSLE and CMIP5 Climate models
	양인태 (2007)	GIS를 이용한 강우조건에 따른 산사태 취약지 평가
	차경섭 (2004)	다중셀과 지형지수를 이용한 광역 산사태 위험지 예측
외적 요인의 임계치 연구	이철희 외 (2017)	기후변화 대응 주거단지 가이드라인 개발을 위한 연구 - 폭염 및 열섬 현상을 중심으로 -
	이환길 외 (2011)	산사태 예측 기법에 대한 비교
	김만식 외 (2002)	GIS와 RUSLE 기법을 이용한 삼교호 유역의 토사 유실량 산정
	김경훈 외 (2016)	토사재해 저감을 위한 계획기법 및 지구단위계획 시행지침에 관한 연구
취약성 연구	민병근 (2013)	지형요소와 AHP를 활용한 산사태취약지역 선정
	윤홍식 외 (2009)	GIS 기법 및 발생자료 분석을 이용한 산사태 위험지도 작성
	김동엽 (2013)	물리기반 모델을 이용한 광역규모의 산사태 발생 가능성 평가
	우충식 외 (2014)	로지스틱 회귀모형을 이용한 전국 산사태 발생위험 예측지도 개발
	Xu Zhen et al. (2011)	GIS를 이용한 기후변화에 따른 산사태 취약성 평가

## 2.2 정책 · 법제적 고찰

2011년 우면산 산사태 이후 서울시는 산지방재과를 신설하고, 보다 체계적인 산지와 방재시설 관리를 위해 노력해왔다. 현재 국가차에서는 표 3과 같이 부처별 산지 및 사면 관리와 함께 재해의 위험 방지에 대한 세부 법률에 대해 명시하고 있다.

그러나, 법률상 공간적 범위가 모호하게 규정되어 있음을 알 수 있었다. □국토의 계획 및 이용에 관한 법률□의 제 37조의4에서는 ‘풍수해, 산사태, 지반의 붕괴, 그 밖의 재해를 예방하기 위하여 필요한 지구’로서 방재지구를 지정하고 있다. 그러나 서울시 내의 방재지구는 2005년과 2006년에 지정된 5개소의 상습침수구역을 제외하고, 토사재해와 관련된 방재지구는 현재 지정되어 있지 않다. 또한, □급경사지 재해 예방에 관한 법률□ 제 2조 2,3의 ‘급경사지’는 ‘택지·도로·철도 및 공원시설 등에 부속된 자연 비탈면, 인공 비탈면(옹벽 및 축대 등을 포함한다. 이하 같다) 또는 이와 접한 산지’로, ‘붕괴위험지역’은 ‘붕괴·낙석 등으로 국민의 생명과 재산의 피해가 우려되는 급경사지와 그 주변토지’로 구분되지만 실제로 그 기준과 근거가 모호하다.

관리 주체 측면에서 바라볼 때, 주요 법률에 따른 담당 부처가 세분화되어 있어, 부처에 따른 관리가 체계적으로 이루어지고 있는 것처럼 보이지만, 실제 관리 측면에서의 한계점이 있다. Kim et al. (2017)은 이와 같은 문제 때문에 크게 산지부와 도심부로 나뉘어져 그 관리가 이루어지게 되고, 결국 산지와 시가지의 경계부처럼 그 관리주체와 영역이 모호한 경우 법률상 사각지대가 발생하게 된다고 밝힌 바 있다.

법률과 제도상 발생하는 사각지대는 경계와 관리주체가 모호하기 때문에 토사 재해 발생에 대한 신속한 대응과 적응 방법을 제시하기 위해서는 명확한 공간적 범위를 검토할 필요가 있음을 시사했다.

표 3 토사재해 관련 법률 및 관련부처<sup>①</sup>

구분	주요 법률	주관부처
산지 및 사면관리	산지관리법, 산림보호법, 산림기본법	산림청
	급경사지 재해예방에 관한 법률	국민안전처
안전관리 및 풍수해	재난 및 안전관리 기본법(특정관리대상시설)	국민안전처
	자연재해대책법, 재해위험개선사업 및 이주대책에 관한 특별법, 풍수해보험법	국민안전처
	시설물의 안전관리에 관한 법률	국토교통부
방재시설	사방사업법	산림청
	하수도법	환경부
	하천법	국토교통부
	소하천정비법	국민안전처
	농어촌정비법	농축산부, 해양수산 부
공공시설	도시공원 및 녹지등에 관한 법률, 도로법, 도시교통정비촉진법, 도 시철도법, 경관법 등	국토교통부
도시계획· 개발· 건축	국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 도시 및 주거환경정비법, 도시재정비촉진법, 택지개발촉진법, 공공주택 건설 등에 관한 특별 법, 건축법, 주택법 등	국토교통부

<sup>①</sup> 국내외 사례분석을 통해서 본 토사재해 방지제도 연구(Kim et al., 2017).

## 2.3 연구의 차별성 및 필요성

선행 연구의 고찰을 통하여 산지의 토사 재해와 관련된 선행연구의 흐름이 유출량의 정량화 연구, 외적 취약 요인에 대한 임계치 연구, 내적 요인에 대한 취약성연구의 3 가지 흐름으로 진행이 되어오고 있으나 외적 요인 중에서도 특정 요인에 의해 발생할 수 있는 위험에 대한 연구는 다소 미흡하였다. 기존 연구들은 정량적 연구 이후에 공간적 대안이나 방안을 제시하기 보다는 결과 분석 위주의 공학적 연구가 주를 이루었다. 도시 토사위험취약지구인 산지와 생활권, 그리고 그 경계부는 기존 정책적 측면에서도 산지와 생활권이라는 양극화된 공간 분리 속에 발생하는 일종의 사각지대로서 존재하고 있었다.

현재의 정책적 대응체계 속에서는 대응 시점이나 주된 요인에 대한 대안 기준이 구체적으로 제시되어 있지 않다. 그러나 실제 토사 재해와 같은 재난은 불확실성이라는 변수가 늘 함께 존재하기 때문에 단기적 대응과 검토, 유지 관리적 측면과 장기적 차원의 유지관리와 기술의 설치 등을 구분하여 제안할 수 있어야 한다.

따라서 본 연구에서는 남현동 일대 대상지의 산지와 그 인근 생활권 인근 유역을 포함한 전역에 대해 ‘강우’라는 외적 요인에 의해 발생할 수 있는 토사의 유출 형태를 예측하고, 그 근거를 기후변화 시나리오의 경로를 설정하여 미래에 적응하는 대책을 제시하는 데에 차별성이 있다. 따라서 산림 인근의 생활권을 포함한 전역에 대해 유역 중심의 분석을 시행하고, 분류된 유역의 논리구조를 설정하여 구체적인 방재기술들의 규모와 배치를 공간적으로 제안하는 연구가 요구된다.

### 제 3 장 연구 대상지

본 장에서는 그림 2 과 같이 같이 ‘서울시 남현동 일대’ 로 최종 결정된 본 연구 대상지의 선정 과정과 함께 지리, 기후, 물리적 특징에 대해 개괄하고, 현장 답사를 통해 발견한 문제점들에 대해 설명하고자 한다. 유역 선정 과정은 최종적으로 도시 토사재해위험지역의 분포를 파악하는 밑바탕이 되었으며, 토사유출량을 산정하기 위한 기초조사가 된다. 현장조사는 실제 기술의 필요 유무를 결정하고 설계 논리를 제안하는 데에 기반이 된다.

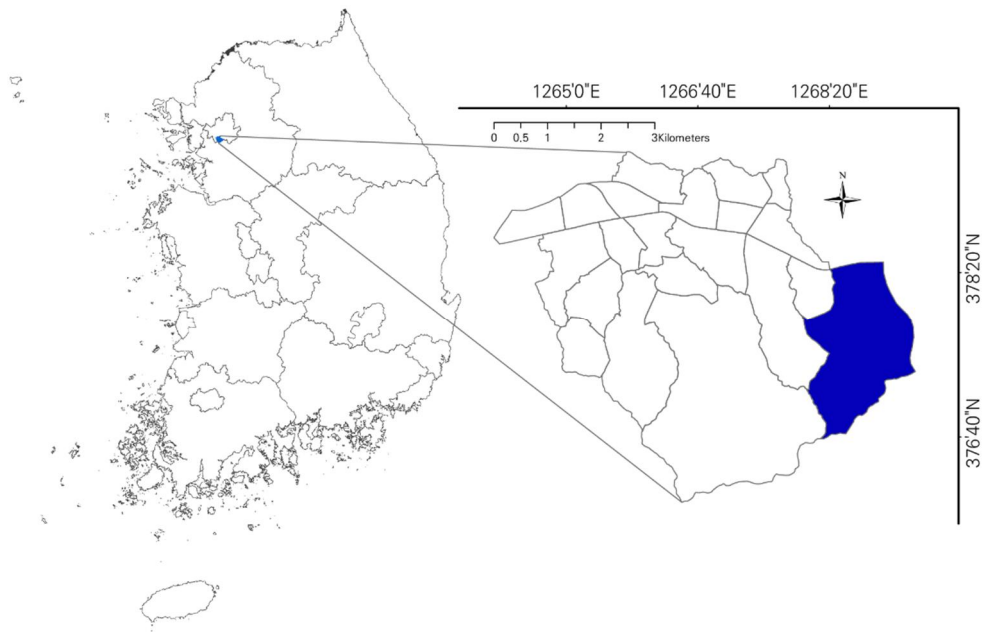


그림 2 관악구 남현동의 위치



### 3.1 선정 과정

토사재해가 발생했을 때, 큰 피해가 발생할 수 있는 곳은 위험 산지로 부터 인접한 생활권이다. 현재 산림청에서는 산지 재해 위험을 살펴보기 위하여 전국단위의 ‘산사태위험지도’를 구축하여 제공하고 있다. 로지스틱 회귀모형을 사용해 기 발생 재난의 인자 별 특성을 분석하고 이에 따른 가중치를 부여하여 총 5개의 위험 등급을 구분하였다(우충식 외, 2014). 그러나 산사태위험지도는 ‘산지’의 위험 취약성만을 고시하고 있어, 피해가 발생할 수 있는 생활권이나 그 인접부의 발생 위험은 잘 파악할 수 없다. 따라서 산지뿐 아니라 인근의 생활권 인접부 유역을 Arc Hydro Tool을 통해 분석하여 산사태위험지도와 중첩시켜 인접 유역을 분류하였다.

분석결과 고도가 있는 경사부나 산지의 계곡부의 경우 비교적 유역의 결과 범위가 좁고 정확한 형태를 보였고, 경사가 거의 없는 평지인 경우에는 고도가 같은 곳을 동일 유역으로 취급하여 넓은 영역이 한 유역으로 설정되는 특성을 보였다.

서울시의 경우 시경계의 남측과 북측을 중심으로 위험유역이 다량 분포했는데, 이는 고도가 높은 산지가 서울 외곽부에 위치하고 서울의 동서를 가로지르는 한강이 낮은 지대에 위치하기 때문으로 보인다. 따라서 유역(Catchment) 분석을 통해 세분화된 유역결과를 보이는 산지와 산지 인근 생활권의 경우, 그 경사와 고도 특성을 고려하여 살펴볼 필요가 있다.

이 데이터를 활용하여 총 5단계로 분류된 산사태 위험 등급 중에서 상위 고위험 등급인 1·2등급지를 대상으로 서울시 내 구별 우선순위를 먼저 분류하였다. 유역(Catchment area)은 산의 능선이나 산정으로 구분되는 경계선에 의해서 강우에 의한 지표수가 분할되는 영역으로

집수(集水)역라고도 한다(토양비료 용어사전, 2018). 재해의 영향 및 피해 범위를 설정하기 위하여 지표수의 영역 구분이 되는 유역의 면적과 경계 설정이 우선되어야 한다.

## ■ 취약지 순위 분류

그림 3 는 산림청이 제시하고 있는 산사태위험지도에 서울시 행정구별 분포를 나타낸 것이다. 지역별 최소 1 개소 이상의 위험 산지 유역이 있지만 그 면적과 유역 개소가 다르기 때문에 지역별로 우선순위를 나누어 차별화된 관리를 시행할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

서울시의 산사태 위험지는 서울시 북측 경계 산지와 남측 경계 산지를 중심으로 집중된 경향을 보였다. 동서 방향으로의 한강이 서울을 가로질러 흐르기 때문에 서울시 경계부에 비해 한강 인근의 중심부는 전체적으로 낮은 고도의 분포를 보였다.

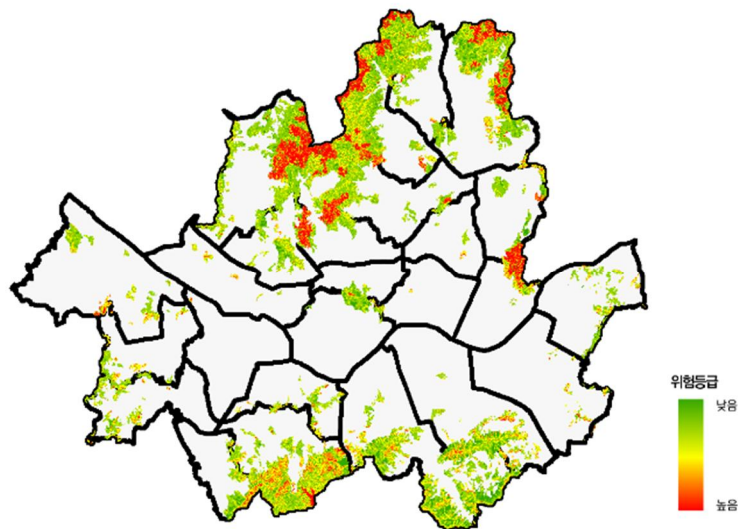


그림 3 서울시 산사태위험지도 (산림과학원, 2014)

산사태 위험이 가중되는 순으로 High, Middle, Low의 세 단계로 등급을 설정하였다. High 단계는 은평, 종로, 강북, 도봉, 노원, 중랑, 광진, 서초, 관악구의 9개구, Middle 단계는 강서, 양천, 구로, 송파, 강동, 서대문, 강남, 금천의 8개 구, Low 단계 구는 성북, 용산, 동대문, 성동, 영등포, 동작 중구의 7개구로 구분 하였다.

표 4 토사재해 위험 등급 우선순위표

위험 등급	구명(區名)
High	은평, 종로, 강북, 도봉, 노원, 중랑, 광진, 서초, 관악
Middle	금천, 강서, 양천, 구로, 송파, 강동, 서대문, 강남
Low	성북, 용산, 동대문, 성동, 영등포, 동작, 중구

High 단계에서 은평, 종로, 강북, 도봉구는 북한산 능선의 남측 하단과 인접해 직접적 영향을 받고 있는 지역이지만, 서울시 구별 인구 대비 밀집도는 낮은 편에 속했다. 반면 노원, 관악구의 경우 각각 수락·불암산과 관악·삼성산의 영향권에 속해 있으면서 동시에 높은 인구밀도를 보였다. 중랑, 광진구는 각각 봉화산과 아차산의 산지 영향을 받고 있으나, 봉화산은 상대 규모가 작고 위험 등급이 낮은 지역이라 아차산의 영향을 더 크게 받고 있었다.

따라서 산사태 위험이 High 단계로 나타난 구 중에서 산지의 직접 영향을 받으면서 인구수와 노후건축물의 분포가 높게 나타나 잠재 위험도가 높을 것으로 예상되는 구 중에서 관악구 남현동을 분석 대상으로 결정하였다.

## 3.2 특징

### 3.2.1. 지리적 특징

본 연구의 대상지인 ‘서울시 관악구 남현동 일대’는 그림 2에 나타난 바와 같이 서울시 전체 지리상 남측에 위치해있다. 남현동은 남서쪽으로 관악산과 북남쪽으로 우면산을 양 측에 두고 있다. 남현동은 동작구, 서초구, 경기도 과천시의 중심이기 때문에 서울과 경기 등 외곽 교통의 탑승 지점과 지하철 2, 4호선 사당역 환승 역세권이 있어 교통 수요가 높고 유동인구가 많은 지역이다. 또, 동서방향으로 가로지르는 강남순환로와 관악산을 관통하는 봉천 터널이 지난다.

남현동의 총 면적은 3.27km<sup>2</sup>로, 면적의 2/3이 산지로 이루어져 있고 지대가 상대적으로 낮은 북서쪽으로 생활권이 밀집해 있기 때문에 관악산의 영향권 안에 있다고 할 수 있다.

대상지 일대는 서측 관악산, 동측 우면산, 북측 서달산으로 주변의 지대가 높아 상대적으로 낮은 지대에 생활권이 위치하고 있다. 남서쪽으로 위치한 관악산은 해발고도 632m에 달하고 모암대가 대부분 화성암으로 이루어져 있다. 능선을 따라 비교적 점토, 모래, 그리고 미사 함량이 균일한 식양토가 분포하며, 산지중상부로 갈수록 모래의 함량이 높은 사양토가 다량 분포한다. 식양토의 대부분을 차지하고 있는 모래의 토성으로 인해 배수 능력이 상대적으로 높지만, 점성이 떨어져 집중 강우 등에 의해 점착되지 못하고 유실될 위험이 있다.

남현동 서측의 우면산은 해발고도 293m의 산으로, 산의 동측 끝자락에 위치한 장군봉을 제외하고 대부분의 모암대가 변성암으로 이루어져 있다(산림청, 2016). 산지 토성의 대부분은 양토로, 모래와 실트가 혼합되어 있다. 장군봉은 양질사토로 이루어져, 실트의 함유비가 높아 물에 대한 흡수력은 높지만, 일정 수준이 지나면 오히려 추가적인 흡수가 잘

일어나지 않는 경향이 있어, 배수가 어렵고, 투수 계수가 낮고, 비에 의한 수위가 높아질 시 배수가 느려진다.

관악산과 우면산에 비해 상대적으로 거리가 떨어져 있는 서달산은 물리적 거리는 떨어져 있지만 지대가 높아 사당역 인근의 남현동의 낮은 지대로 인한 재난의 위험을 더욱 가중시키는 요인이 된다.

### 3.2.2. 물리적 특징

산지 토사 재해로 인한 피해가 실질적으로 영향을 미치는 곳은 산지 자체보다 생활권에서 더 크게 나타난다. 이는 산지보다 도심지 생활권에 인구의 평균 분포가 높고, 건물 등의 재산 손실이 발생할 위험이 크기 때문이다(국립재난안전연구원, 2017). 남현동의 생활권을 이루고 있는 물리적 건물의 용도 분포 5에서 살펴본 결과, 총 1286 개 건물의 데이터 유형을 분석할 수 있었다.

전체 건물 현황 중 주택의 분포가 60.7%로 전체 건물 대비 가장 높은 비율로 나타났고, 근린생활 시설과 종교 시설도 각각 23.2%과 2.8%의 분포로 뒤를 이었다. 그러나 교육 및 연구시설이나 노인 및 어린이들을 위한 시설들은 총 1.8%로 상대적으로 낮은 분포를 보였다.

표 5 남현동 건물의 용도 현황

용도	빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
주택	780	60.7	60.7	60.7
근린생활시설	298	23.2	23.2	83.8
문화및집회시설	1	0.1	0.1	83.9
종교시설	36	2.8	2.8	86.7
판매시설	1	0.1	0.1	86.8
교육연구시설	13	1.0	1.0	87.8
노유지(노인및어린이)시설	10	0.8	0.8	88.6
업무시설	3	0.2	0.2	88.8
숙박시설	11	0.9	0.9	89.7
위험물저장및처리시설	5	0.4	0.4	90.0
자동차관련시설	2	0.2	0.2	90.2
분뇨및쓰레기처리시설	1	0.1	0.1	90.3
기타시설	125	9.7	9.7	100.0
합계	1286	100.0	100.0	100.0

### 3.2.3. 기후 특징

#### ■ 강우 이력

관악구 남현동 일대의 기후 특성, 특히 토사재해 발생의 주요한 외적 요인인 강우에 대해 살펴보고자 서울시 내 강우 관측소 중 대상지와 가장 인접한 남현동관측소에서 5 개년동안 관측된 일강우량의 이력 분포를 표 6 와 같이 분석하였다.

표 6 5개년(2013-2018) 7월 강수량 통계 (남현동 관측소)

연도		2013년7월	2014년7월	2015년7월	2016년7월	2017년7월	2018년7월
N	유효	31	31	31	31	31	31
	결측	0	0	0	0	0	0
평균		22.086	1.23	7.58	12.358	18.00	7.18
중위수		7.0	0	0	0	2.5	0
표준편차		35.99	3.068	14.64	30.94	30.60	23.89
최소값		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
최대값		144.00	11.50	56.50	122.00	148.00	100.50

2013 년부터 2018 년까지 하절기 7 월동안 측정된 일우량의 분포를 보면, 강수량 평균값의 편차가 상이하게 나타난다. 그 중에서도 2017 년 7 월에 발생한 일우량의 최대값이 148mm 로 연차 대비 가장 높은 값을 보였다. 사방 관련 시설 대다수가 30 년에서 50 년 빈도<sup>②</sup>의 강우 침투량을 기준으로 시설을 설계하는 것을 고려했을 때, 연도별 하절기 강우 분포의 최대값으로 유출 기준을 정하여 산출하는 것이 극값에 의한 재난을 설명을 설명하기 위해 타당하다고 판단하였다.

<sup>②</sup> 도로비점오염저감시설 설치 및 관리지침(환경부, 2015.6)

## ■ 기후변화 전망

한편 관악구는 □기후변화 적응 대책 세부시행계획 보고서□에서 세계 기후변화시나리오 상의 RCP8.5 온실가스 배출 예측에 따른 연강수량의 증감율을 10년빈도로 2100년까지 예측했다(기상청, 2016).

기후변화 시나리오란 기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)에 의해 발간되는 장기적 차원의 기후변화 평가 보고서에서 정의하고 있는 기후변화 예측 경로이다. 2014년 발간된 □IPCC 제 5차 평가 보고서(WGI: 기후변화 과학적 근거)□에서는 인간활동에 의한 온실가스의 배출이 기후변화로 인해 대기에 미칠 영향에 대해 RCP(Representative Concentration Pathways; RCP라는 가상 온실가스 배출 대표 농도 경로를 설정하였다.

표 7 RCP 시나리오 단계 (IPCC 5차 평가 보고서, 2014)

RCP 단계	설명
RCP 2.6	인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우
RCP 4.5	온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우
RCP 6.0	온실가스 저감 정책이 어느정도 실현되는 경우
RCP 8.5	현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우 (BAU 시나리오)

세부적으로 표 7 와 같이 RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 로 경로를 구분하였다(기상청, 2018). 현재 추세로 더 이상의 저감 없이 계속해서 온실가스가 배출되는 경우는 RCP 8.5 단계에 해당한다.

본 연구에서는 현재의 추세로 저감없이 온실가스가 배출되는 경우, 발생될 수 있는 토사 재해의 가중 위험을 예측하고자 RCP 8.5 단계의 재난 위험 경로를 기준으로 설정 하였다. 이러한 온실가스 배출의 경로는 다른 기후변화에도 상호영향을 준다는 가정 하에 강수량 변화에 대해서도 경로에 따라 구분하여 예측하고 있다.



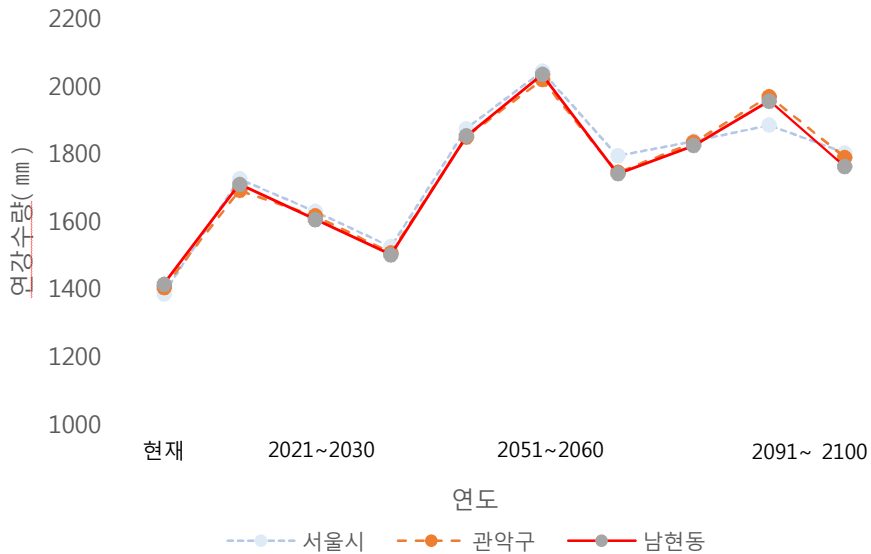


그림 4 관악구의 연강수량 전망과 증감율(%)(RCP 8.5)

관악구는 □기후변화 상세 보고서□에서 RCP 8.5 단계의 시나리오가 진행된다면 발생할 수 있는 강수량의 변화를 그림 4와 같이 보고하였다(기상청, 2016). 남현동은 연평균강수량이 점차적으로 증가하여 가장 극한의 증가폭이 보일 것으로 예측된 2051~2060년 시점에는 현재 연강우량의 약 1.5 배가 증가한 46.5%의 증가폭을, 2091년~2100년 이후에는 기준연도 대비 31.8%의 증가폭을 보일 것으로 예측되었다. 가장 높은 증가치를 보일 것으로 예측된 2051~2060년의 경우 남현동이 관악구 평균 증가율인 43.9% 보다 약 2.6% 높게 나타났다.

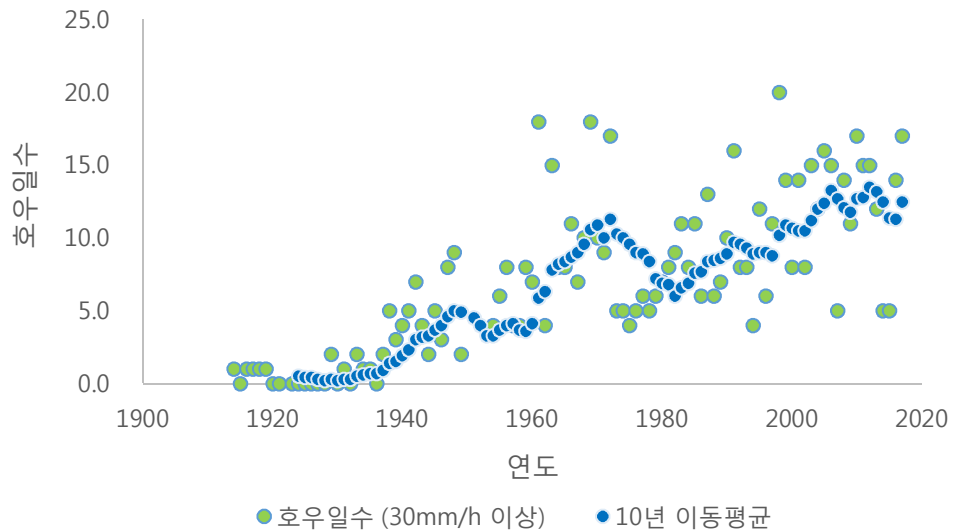


그림 5 시간당 30mm 이상의 호우 일수 (1924-2018)<sup>③</sup>

한편, 1914 년부터 2018 년까지의 시간당 30mm 이상의 호우 일수 분포 이력을 보면 호우 일수의 10 년 이동 평균이 계속해서 증가해왔다. 그림 5 와 같이 1914 년에는 1 일에 불과했던 30mm 이상 호우일이 1973 년에는 5 일, 2017 년에는 17 일까지 증가하는 경향을 보였다. RCP 8.5 시나리오에 의해 예측된 관악구의 연강수량 전망이 지속적으로 증가하고, 시간당 30mm 의 고강도 강우 경향이 더해진다면, 강우로 인해 주로 유발되는 토사 재해의 위험 정도도 더욱 가중되어 증가하게 되어 결국 토사의 유출을 더욱 가중시키고 산사태와 같은 대형 재난으로 이어지는 원인이 된다.

<sup>③</sup> 종합 기후변화감시정보시스템(기상청, 2018).

### 3.3 현장 조사

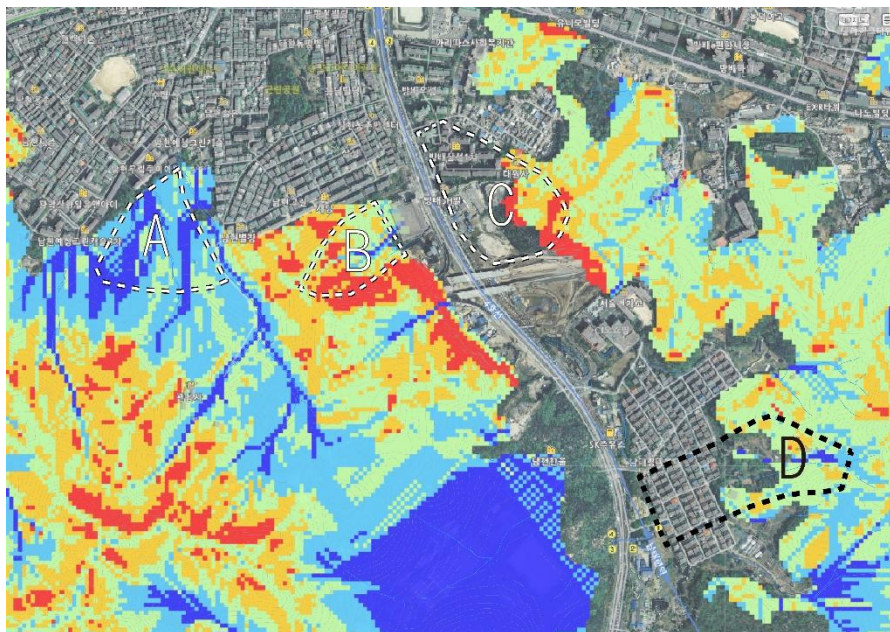
실제 위험이 높을 것으로 예상되는 남현동 관악산 및 우면산 인근의 유역 중, 생활권 인근의 산지의 현장을 조사하고 기 설치된 기술의 여부를 살펴보기 위하여 2019 년 3 월 12 일 오전 9 시부터 오후 6 시까지 남현동 일대의 관악산과 우면산 자락 일대 산지와 생활권을 답사하였다. 보다 정확한 판단을 위해 현업의 전문가와 함께

그림 6 의 유역을 중심으로 현장을 조사하였다.

남현동과 또, 인근 일대를 중심으로 산사태위험등급과 산지 하부 생활권의 주거 유형별로 A, B, C, D 유역을 나누었다. 산사태 위험이 높게 평가된 유역의 산지 하부, 생활권 인접부, 생활권의 기술 설치 유무와 환경요인을 중심으로 살펴보았다. A, C 유역의 인근 300m 에는 아파트가, B 유역에는 연립주택이, D 유역에는 단독주택이 위치하고 있어 총 A, B, C, D 의 네 유형에 대해 나누어 조사하였다. 그러나 현장 답사 결과, D 유역은 군사시설로 답사 여건이 제안되어 최종적으로 A, B, C 세 유역에 대해서 답사 시 발견한 현장의 여건들을 명시하였다.



(a) 현장 답사 구역



(b). 답사구역의 산사태위험등급 분포  
그림 6 현장 답사 지역



### 3.3.1. A 유역



그림  
7 A  
유역  
의  
현장  
사진

A

유역은 관악산 능선 끝자락에 위치하며 산지 북측 경계부에 산사태 위험지역이 바로 인접해 있음에도 불구하고 예성그린캐슬, 화성타워, 남현한일유엔아이아파트, 우림루미아트아파트, 남현홍화 브라운빌아파트, 대창센시티아파트와 같이 다수의 아파트가 근교에 위치해있다. 등산로를 따라서 일부 구간에 계류 보전과 소규모 사방댐이 조성되어 있었지만, 실제 주거지 인근으로 갈수록 낙엽과 토사로 인해 배수구가 막혀 있었고, 생활권과 바로 인접한 아파트 뒤편에는 100m 이내에는 어린이 놀이터가 아무런 방지 장치 없이 설치되어 있었다. 산지 상부의 관음사 인근에는 절을 기점으로 남측의 급경사 위험지가 있고, 이 곳에서 발생하는 토사의 지속적인 유출이 그림 7 과 같이 자연 침사지와 배수로를 막고 있는 문제를 발견할 수 있었다.

사실상 토사 유출의 시작점인 상부의 계곡부가 방치되어 있고, 등산로에 설치된 기술과 연결되어 있지 않다는 점에서 갑작스러운 토사가 발생하였을 때 유수나 부유물이 제대로 배출되거나 배수되지 못할 위험이 있는 것으로 파악이 되어 이와 같은 문제를 해결해줄 기술이 필요한 것으로 관찰되었다.

### 3.3.2. B 유역



그림 8 B 유역의 현장사진

남현동 홈플러스 뒤편으로 산사태 위험지도 상의 위험등급 1 등급인 지역이 많이 분포하고 있었으나, 실제 답사 결과, 그림 8 의 사면 현황과 같이 토양의 대부분이 단단한 암석으로 이루어져 있었다. 이는 토사와 같이 가벼운 흙의 지속적인 유출은 없을 것으로 판단되지만, 암석지반의 경우 배수가 어렵기 때문에, 발생한 토사가 쓸려 내려가지 않도록 일정시간 저사하는 시설이 요구되었다. 또한 암석이 외부 힘에 의해 파괴된 흔적이 있는 것으로 보아 과거 채굴장으로 사용되었을 가능성이 높아, 암석의 낙석을 방지하는 시설을 설치할 필요가 있었다.



### 3.3.3. C 유역



그림 9 C 유역의 현장사진

C 유역은 B 유역과 마찬가지로 산사태위험지도상의 1 등급지역이 많이 분포되어 있는 산사태위험산지로 나타났지만, 실제 답사 결과 그림 9 의 사진에 나타난 바와 같이 산지의 위험도가 높은 부분은 암석으로 이루어진 절토사면인 것을 확인할 수 있었다. 강남순환로가 지나가는 도로 공사를 위해 산지를 절단한 것으로, 사면의 위험도 요인 중에서도 경사에 의한 가중치가 높아 위험산지로 나타났음을 추측할 수 있었다. 반면 북측은 쉽게 쓸려 내려가기 쉬운 다량의 마사토가 분포하고 있어, 소규모의 시설이 필요해 보였다.



유역 산지 하부 경계면은 대부분 산사태위험지역과 생활권 사이의 거리가 가장 가까운 구역이다. 관악산 등산로를 따라서 조성된 사방 시설이 있지만 주거지에 가까이 올수록 제대로 유지관리가 되지 않고 있는 문제점을 발견할 수 있었다. 무엇보다 사방 시설과 같은 대규모 토사 재해 방재기술들은 생활권과 바로 가까이 설치될 수 없기 때문에 생활권과 토사 재해 위험지역과의 일정 구간의 이격 공간을 두고 방재 기술이 필요한 현장의 상황을 파악할 수 있었다.

## 제 4 장 방법론

유역의 토사유출량을 기후변화 정도에 따라 정량화하고 방재기술을 설계하는 방법으로 연구를 진행하기 위하여 그림 10과 같이 도식화 하였다. 연구는 크게 유역 분류, 설계 유량 산정, 토사유출량 예측의 세 단계로 나뉜다.

먼저, 방재 기술의 공간적 배치와 설계를 위하여 기술 설치의 기준이 되는 유역을 분석한다. 구분된 결과를 바탕으로 설계 규모, 즉 기술의 저수량이 유역의 크기와 그 곳에서 유출되는 강우 유량과 토사에 의해 결정되기 때문이다.

둘째로, 설계 유량을 시간당 강우 강도, 지속시간(24시간), 토지 용도를 고려하여 산출한다. 본 연구에서 강우 요인을 토사 재해의 외력으로 설정하였기 때문에 합리식의 시우량법을 사용하여 시나리오별 강우량을 먼저 예측하였다.

셋째로, 이에 따라 발생할 수 있는 토사유출량을 도출된 일우량의 값에 가중하여, 최종적으로 유역 내 시기별 기후변화 RCP 8.5 시나리오 경로에 따른 남현동 일대 지역의 유역 단위 토사유출량을 예측한다.

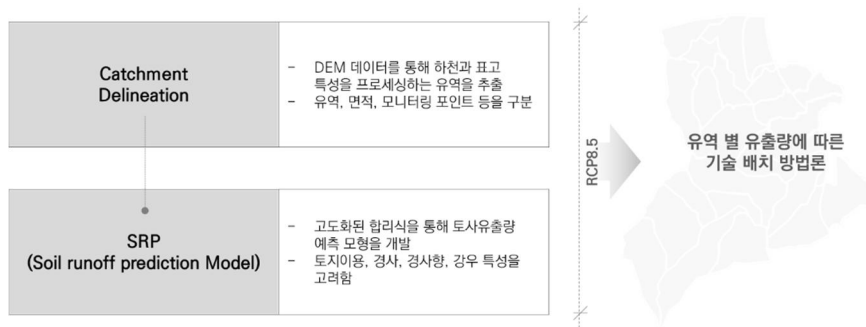


그림 10 연구 방법론 요약

## 4.1 합리식 시우량법

유역을 구분한 뒤에 각 유역에서 발생할 수 있는 토사의 유출량을 예측하기 위해, 토사유출량 산정의 선행 기준이 되는 유역의 강우유출량을 산정하였다. 산림 및 접경부 유역의 강우유출량은 토사량 예측의 기본이 되므로 합리식의 시우량법을 사용하여 유량을 추정하였다. 합리식은 토목 설계 시 계측 소유역의 홍수량을 개략적으로 추정하는데 다방면으로 사용된다(건설부, 1992). 본 연구에서 대상으로 하는 유역은 도시나 산림에 국한되지 않은 범지역적인 공간을 대상으로 하므로 대상지 공간을 소유역 단위로 세분화하여 유량을 산출하였다.

### 4.1.1. 강우유출량의 정의 - 합리식 시우량법

강우유출량이란 일정한 유역 면적에 일정 부피의 비가 내렸을 때, 지하로 흡수되지 않고 지표로 흘러나오는 물의 양을 말한다. 산지 유역의 기술 설치를 위한 설계 유량을 산정하는 모델 중에서 가장 보편화 되어 있는 합리식은 Mulvaney(1850)에 의해 처음으로 최대홍수량 산정을 위해 고안되었으며, 이후 유출량, 강우강도, 유역과 도달시간 등의 강도를 고려하여 Kuichling(1889)이 미국 계측 구역의 합리식을 제시하였다(Lee, 2015). 국내에서는 사방 분야에서 널리 사용되고 있는 시우량법(LauErrberg식)으로 최대계획우수량( $Q_s$ )을 산출하였다.

$$Q_s = \frac{1}{360} \times C_r \times I \times A \quad (1)$$

식(1)에서,

$Q_s$  : 유역으로부터의 총 강우 유출량 ( $m^3/sec$ )

$C_r$  : 강우 유출 계수

$I$  : 최대 시우량(강우강도) ( $mm/Hr$ )

$A$  : 유역의 면적 ( $ha$ )

식 (1)은 시간당 강우강도( $mm/Hr$ )에 의해서 유출되는 체적( $m^3/sec$ )의 최대계획우수량( $Q_s$ )을 의미한다. 토사는 일정 강우의 누적에 의해 체적량이 발생하므로 24시간 동안의( $mm/day$ ) 유출량( $Q_d$ )을 기준으로, 시간과 단위에 대한 상수를 곱하였다.

$$Q_d = 60 \times 60 \times 24 \times Q_s, \quad Q_d = 240 \times C_r \times I \times A, \quad (2)$$

식(2)에서

$Q_d$  : 강우 유출량 ( $m^3/day$ )

강우강도가 일강우 기준일 때 유역면적( $ha$ )에 발생할 수 있는 강우유출량( $m^3/day$ )은 초당유출량식( $Q_s$ )에 시간상수 60(초)\*60(분)\*24(시간)의 86400을 곱하여 식(2)와 같이 변형하였다.

#### 4.1.2. 강우유출 매개변수

강우유출계수( $C_r$ )의 경우, 유역의 토지이용에 따라 각각 그 범위가 구분된다.

표 8 토지이용별 총괄유출계수의 범위 (ASCE, 1992)<sup>④</sup>

토지이용		유출계수범위
교통시설지		0.80~0.90
상업업무시설지		0.70~0.95
공공용도지		0.65~0.75
주택지		0.50~0.75
주거·상업혼합지		0.70~0.95
공업지		0.60~0.90
경작지		0.10~0.25
나 지		0.30~0.40
도시부양시설	조경수목식재지	0.10~0.25
	시가화지역	0.60~0.75
녹지 및 오픈스페이스		0.50~0.75

미국토목학회 ASCE(1992)의 유출 계수를 참고하여 국내 하천설계기준 보고서에서는 2002년에 강우 유출과 관련된 총괄유출계수의 범위를 제시하였다. 그러나, 초기 제안 계수가 미국의 주택 및 토지이용 현황에 착안하여 산정되었기 때문에, 국내 토지이용의 여건에 맞는 재검토 과정을 거쳐 표 8과 같은 기초유출계수의 범위를 제시하였다 (하수도시설기준, 2011). 선행 계수의 범위를 참고하여 연구에서 사용할 토지이용의 유형을 분류하고 토지이용에 따른 유출 계수를 표 9과 같이 설정하였다. 합리식의 특성상 계획 유량이 과다 추정될 수 있으므로, 범위 내 계수의 최소값을 사용하여 결과를 산출하였다.

<sup>④</sup> 하천설계기준 (건설교통부 2002; 미국토목학회 ASCE, 1992).

표 9 연구에 사용한 유출 계수<sup>⑤</sup>

대분류	중분류	소분류	계수
농지	논	경지정리답	0.7
		미경지정리답	0.8
	밭	보통, 특수작물	0.45~0.60
		과수원 기타	0.5
임지	초지	자연초지	0.25
		인공초지	0.05~0.10
	임목지	침엽수림	0.5
		활엽수림	0.5
		혼합수림	0.5
	기타	골프장	0.50~0.75
		유원지	0.10~0.25
		공원묘지	0.10~0.25
		암벽 및 석산	0.7
도시 및 주거지	주거지 및 상업지	일반주택지	0.60~0.70
		고층주택지	0.50~0.70
		상업, 업무지	0.70~0.95
		나대지 및 인공녹지	0.35
	교통시설	도로	0.70~0.95
		철로 및 주변지역	0.7
		공항	0.95
		항만	0.8
	공업지	공업시설	0.60~0.90
		공업나지, 기타	0.50~0.80
	공공시설용지	교육, 군사시설	0.50~0.70
		공공용지	0.50~0.70

<sup>⑤</sup> 상습침수해소를 위한 하수도시설기준 재검토(서울특별시, 2002).

## 4.2 토사유출량 산출 모델

### 4.2.1. 토사 유출량 측정 데이터 분석

토사유출량의 경우 토성, 경사, 임상 등 그 고려 인자가 다양하고 복잡하여 그 기준이 상이하다. 따라서 본 연구에서는 연구 대상지와 비슷한 요건을 가지고 있는 실측지의 모니터링 데이터를 사용하여 토사유출량을 예측할 수 있는 계수를 설정하였다. 본 연구 대상지인 남현동의 실측 데이터가 없기 때문에 비슷한 지형적, 토질 요건을 가지고 있는 부산과 세종의 데이터를 평균하여 사용하였다.

표 10의 실측값 DB는 부산시 만덕구와 세종시의 약 65,000m<sup>2</sup> 유역에서 측정되었다. 측정은 2016년에서 2018년까지 실시되었으며, 지역에서 강우 시 지표수로 유출되는 강우의 양과 토사의 양은 동일 유역에서 측정된 값을 평균한 것이다.

매년 4월부터 10월까지의 기간 중 비가 내린 날을 중심으로 한 달에 ‘적어도 1번 이상’ 값을 측정하였다. 각 일자 별로 유역 면적 내에 유출된 강우총량( $m^3$ ), 합리식을 통해 도출한 유역의 실강우 유출량( $m^3$ ), 측정한 토석류의 유입량( $m^3$ )을 각각 기입하고 이에 따라 실강우 유출량에 따른 토석류의 유입량 비를 통해 단위 부피당 유출될 수 있는 토사의 비율을 제시 하였다.

표 10 세종시 및 부산 만덕 실측 모니터링 DB<sup>⑥</sup>

일자	강우량 (mm)	유역 강우총량(m³)	실 강우 유출량(m³)	토석류 유입량(m³)	토사유출 계수(S)	비고 (C값)
16.4.13	28.1	1826.5	547.95	1.03	0.0019	0.30
16.4.21	37.2	2418	773.76	1.55	0.0020	0.32
16.5.10	25.7	1670.5	501.15	0.94	0.0019	0.30
16.6.24	43.3	2814.5	985.075	2.16	0.0022	0.35
16.7.4	179.1	11641.5	7916.22	24.56	0.0031	0.68
16.7.7	38.8	2522	807.04	1.61	0.0020	0.32
16.9.8	22.8	1482	444.6	0.83	0.0019	0.30
16.9.17	97.8	6357	3432.78	12.42	0.0036	0.54
16.9.27	39.7	2580.5	825.76	1.65	0.0020	0.32
16.10.8	32.3	2099.5	671.84	1.34	0.0020	0.32
소 계	544.8	35412	16906.18	48.09	-	-
17.4.6	15.9	1033.5	258.375	0.81	0.0031	0.25
17.4.17	26.8	1742	487.76	1.71	0.0035	0.28
17.7.2	39.5	2567.5	821.6	3.29	0.0040	0.32
17.7.3	69.9	4543.5	2317.185	9.21	0.0040	0.51
17.7.4	34.0	2210	707.2	2.83	0.0040	0.32
17.7.15	24.5	1592.5	445.9	1.56	0.0035	0.28
17.7.25	27.6	1794	502.32	1.76	0.0035	0.28
17.7.31	29.2	1898	607.36	2.43	0.0040	0.32
17.8.9	37.3	2424.5	727.35	2.73	0.0038	0.30
17.8.15	34.4	2236	693.16	2.69	0.0039	0.31
17.8.21	36.1	2346.5	750.88	3.00	0.0040	0.32
17.8.24	49.8	3237	1424.28	7.21	0.0051	0.44
17.9.11	77.0	5005	2702.7	9.82	0.0036	0.54
소 계	502.0	32630	12446.07	49.05	-	-
18.4.14	36.7	2385.5	763.36	3.05	0.0040	0.32
18.4.23	38.9	2528.5	809.12	3.24	0.0040	0.32

⑥ 실측 모니터링 데이터는 (주)유비이앤씨로부터 제공받아 사용하였음.



18.5.6	20.5	1332.5	333.125	1.04	0.0031	0.25
18.5.12	23.4	1521	380.25	1.19	0.0031	0.25
18.6.26	30.3	1969.5	590.85	2.22	0.0038	0.30
18.6.27	50.4	3276	1474.2	7.27	0.0049	0.45
18.6.30	22.4	1456	364	1.14	0.0031	0.25
18.7.1	119.9	7793.5	5299.58	15.73	0.0030	0.68
18.7.2	43.9	2853.5	970.19	4.12	0.0042	0.34
18.7.9	35.5	2307.5	738.4	2.95	0.0040	0.32
18.8.26	78.2	5083	2744.82	10.25	0.0037	0.54
18.8.28	140.0	9100	6279	18.25	0.0029	0.69
18.8.30	73.3	4764.5	2572.83	9.85	0.0038	0.54
18.8.31	42.6	2769	996.84	4.49	0.0045	0.36
18.9.3	89.9	5843.5	3330.795	11.25	0.0034	0.57
18.9.21	32.9	2138.5	684.32	2.74	0.0040	0.32
소 계	878.8	57122	28331.68	98.76	-	-

\* 토사유출계수: 토사유입량/강우유출량

\* 유출계수 (C) : 강우 유출량 / 유역 강우량

유역의 일우량이 대상 면적에 균일하게 내린다는 가정 하에, 동일 면적 내 발생하는 강우총량( $m^3$ )을 구하였다. 측정된 실강우유출량을 예측값인 유역강우총량으로 나누어 유출비를 구하고, 계수(C 값)를 역추적하였다. 토석류유입량은 측정값을 실강우유출량으로 나누어 실유출 강우에 포함된 토석류의 비를 최종 산출하고자 한다.<sup>⑦</sup>

<sup>⑦</sup> 유출비는 관측데이터를 통해 구해져야 하나 대상지의 측정값이 없어 비슷한 조건을 가지고 있는 부산과 세종시의 데이터를 차용하여 사용하였다. 부산시 만덕구 한신아파트 인근 산지 유역과 세종시 제 1-4 생활권의 측정 데이터를 사용하였다.

#### 4.2.2. Pearson의 상관분석(Correlation Analysis) 결과

표 11 기술통계량

	평균	표준편차	N
강우량	49.3744	34.94862	39
토사유출량	5.0230	5.44029	39

표 12 기술통계량

구분		강우량	토사유출량
강우량	Pearson 상관계수	1	.987**
	유의확률 (양쪽)		.000
	제곱합 및 교차곱	46413.434	7127.923
	공분산	1221.406	187.577
	N	39	39
토사유출량	Pearson 상관계수	.987**	1
	유의확률 (양쪽)	.000	
	제곱합 및 교차곱	7127.923	1124.675
	공분산	187.577	29.597
	N	39	39

\*\* . 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

표 11 과 표 12 는 계수를 산정하기에 앞서 실측 토사유출량과 예측 강우량 사이의 정확도와 측정값의 신뢰 분석 간 상관관계를 파악하기 위해 통계적 방법론으로 데이터를 검증한 결과표이다. IBM SPSS Statistics 21 프로그램을 사용하여 강우와 토사 두 인자 간의 유의미한 관계 규명을 위해 사용되는 통계방법론인 Pearson 분석을 시행하였다.

Pearson 의 상관 분석은 두 변수 간의 선형 관계를 분석하는 것으로 도출되는 상관계수는  $-1$  에서  $1$  사이의 값을 가진다. 상관계수의 절대값이 크면 두 변수간의 직선성이 높아 관련도가 높음을 나타내고, 절대값이 작으면 두 변수간의 관련도가 낮아 유의미한 상관이 아니라는 의미로 해석할 수 있다.

표 11 과 표 12 에서 총 59 개의 강우 및 토사유출량 모집단 데이터로 분석한 강우의 평균적인 분포는 약 49.7mm, 토사의 경우 5.03 m<sup>3</sup> 로 나타났다. 검증 신뢰도인 Pearson 의 상관계수는 0.987 로 매우 높은 상관비를 보였다. 강우량의 경우 표 11 과 같이 표준편차가 34.94862 일 때, 유의 확률 0.00 에서 상관계수 0.987 로 두 변수간 밀접한 양의 상관관계를 가졌다. 마찬가지로 표 12 와 같이 토사유출량은 유의 확률 0.00 에서 표준편차가 5.44029 일 때, 5.0230 의 평균값을 가지는 양의 상관을 나타냈다.

즉, 상관계수가 절대값 1에 가까울수록 더 높은 상관관계를 가지는 Pearson의 상관관계식을 고려했을 때, 분석 결과값으로 0.987을 나타내는 강우와 토사의 관계는 매우 밀접한 양의 상관을 나타냈고, 측정값의 강우량으로 토사유출량을 추정하는 것의 상관도가 높으므로, 타변수를 제외한 둘 간의 관계를 규명함에 있어서는 개별 인자가 상호 영향을 미치는 유의미한 관계임을 검증할 수 있었다.

### 4.2.3. 토사유출 매개변수

강우와 토사의 관계의 유의미함이 검증되었으므로, 두 인자의 관계를 식으로 정의하고, 일정 면적에 따라 발생할 수 있는 토사와 기술의 효과 여부를 매개변수와 관련 인자의 관계식으로 정의하여 분류하였다. 기존 강우 합리식에서 모니터링 데이터의 식들을 통해 도출한 고도화 Soil Run-off Prediction Model(:SRP)은 다음과 같다.

$$S_n = Q_d \times C_s \quad (3)$$

$$E = \frac{Y_s}{X_s} \times 100, Y_s = \sum_{i=1}^n Y_{si} \quad (4)$$

식(3)에서,

$S_n$  = n연도의 평균 일간 토사유출량 ( $m^3/ha$ )

$C_s$  = 토사유출계수

식(4)에서,

$X_s$  = 현재 시점의 토사유출량 ( $m^3/day$ )

$Y_s = S_n - X_s$  ( $m^3$ ) : 기술의 설계 목표량 ( $m^3/day$ )

$Y_{si}$  = 각 기술들의 성능의 합 ( $m^3$ ) ;  $i$  = 각 기술의 유형

$E$  = 효과 (토사 감소율) ( $m^3/day$ )

기술의 총 효과(E)는 개별 방재기술들을 적용함으로써 감소하는 토사유출량을 현재 시점에서 발생할 수 있는 토사유출량에서 뺀 값을 백분율로 나타낸 것이다. 개별 방재기술들의 성능( $Y_s$ )은 각각의

기술들이 감소시킬 수 있는 토사량을 모두 합산한 것으로, 유출 토사를 기준으로 설정될 기술별 총 저사 설계량의 합을 의미한다.

토사유출량 산정식 ( $S_n$ )는 일강우 기준의 강우유출 공식인 합리식에 관측값을 통해 얻어진 토사유출계수를 곱하여 산출하였다. 유출계수는 표 10의 결과에 나타난 바와 같이, 최소 0.002에서 최대 0.0051까지의 분포를 보였다. 모니터링 전체 데이터의 분포 평균값과 최대값의 중간값으로 기준을 정하고 식(5)와 같이 산정하였다.

$$C_s = 0.0042 \quad (5)$$

산사태나 토석류와 같은 토사유출로 인한 대형재난으로 이어질 수 있는 강우의 일우량 임계치는 평균적으로 150mm~200mm로 분포한다(함대현, 2014). 측정 강우의 분포 최대값이 일간 180mm를 넘지 않기 때문에, 극한 강우에 따른 토사의 값을 예측하는 데에는 실측 강우량 값의 범위에 한계가 있어, 180mm 이상의 값에 대해서는 동일한 계수 값들을 제시하였다. 토사의 유출 특성을 고려하기 위해서는 식생이나 토양의 성질 등을 폭넓게 고려해야 하지만, 본 연구에서는 토지이용 측면에서의 강우 계수 설정으로 이를 대신하고, 토사의 유출 계수는 설정된 강우 시나리오로 차이를 두어 범지역에 적용이 가능하도록 단순화 하고자 하였다.

### 4.3 유역(Catchment) 분석

등고선으로부터 추출한 표고(Digital Elevation Model; DEM) 데이터를 바탕으로 물의 흐름 방향과 경사에 따른 집수역을 구분하는 수문 분석 방법론을 사용하여 관악구 일대의 유역(Catchment)를 나누었다. 분석에는 Arc GIS 프로그램의 Arc Hydro 플러그인을 사용하였다. Hydro 플러그인은 수문학에서 주로 사용하는 프로그램이지만, 강우에 의한 산지 영향을 분석할 수 있기 때문에 기술의 경계역을 분석하기 위해 사용하였다. DEM의 경우 레스터 데이터의 최소 단위를 2.5m로 설정하여 건물의 평균 단면 길이보다 표고 데이터의 단위 그리드의 단면 길이를 크게 하여 분석하고자 하였다. 그림 11은 분석에 사용된 플러그인 Arc Hydro의 알고리즘이다.

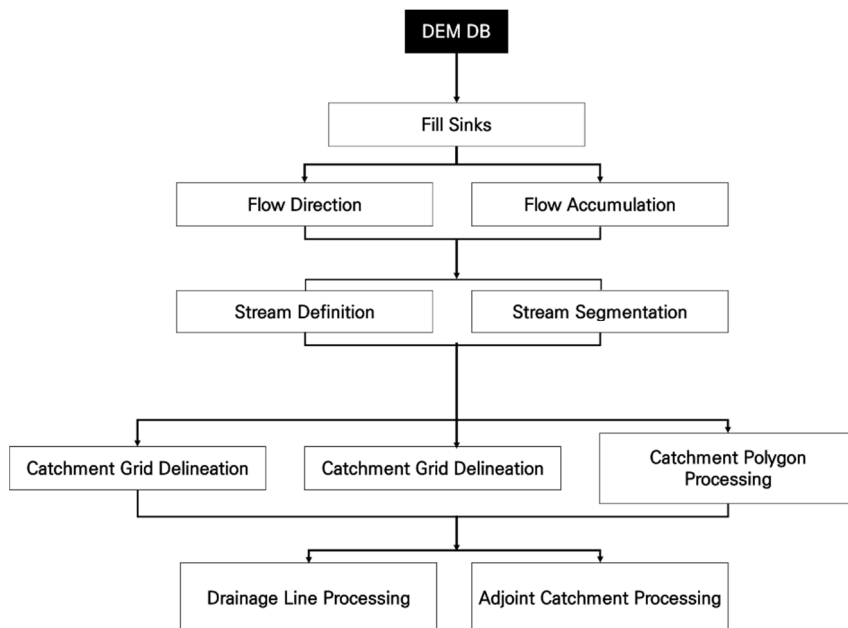


그림 11 Arc Hydro Tool의 알고리즘

Hydro의 분석은 크게 5분류로 구분할 수 있다. DEM의 누락데이터를 보완하는 Fill sink, 물의 흐름에 대한 Flow 분석, 물줄기에 대한 Stream 분석, 분류된 유역을 세분화하는 Catchment 분석, 배수 선을 추적하는 Drainage 분석을 통해 최종적인 Catchment를 도출해내는 과정으로 이루어진다.

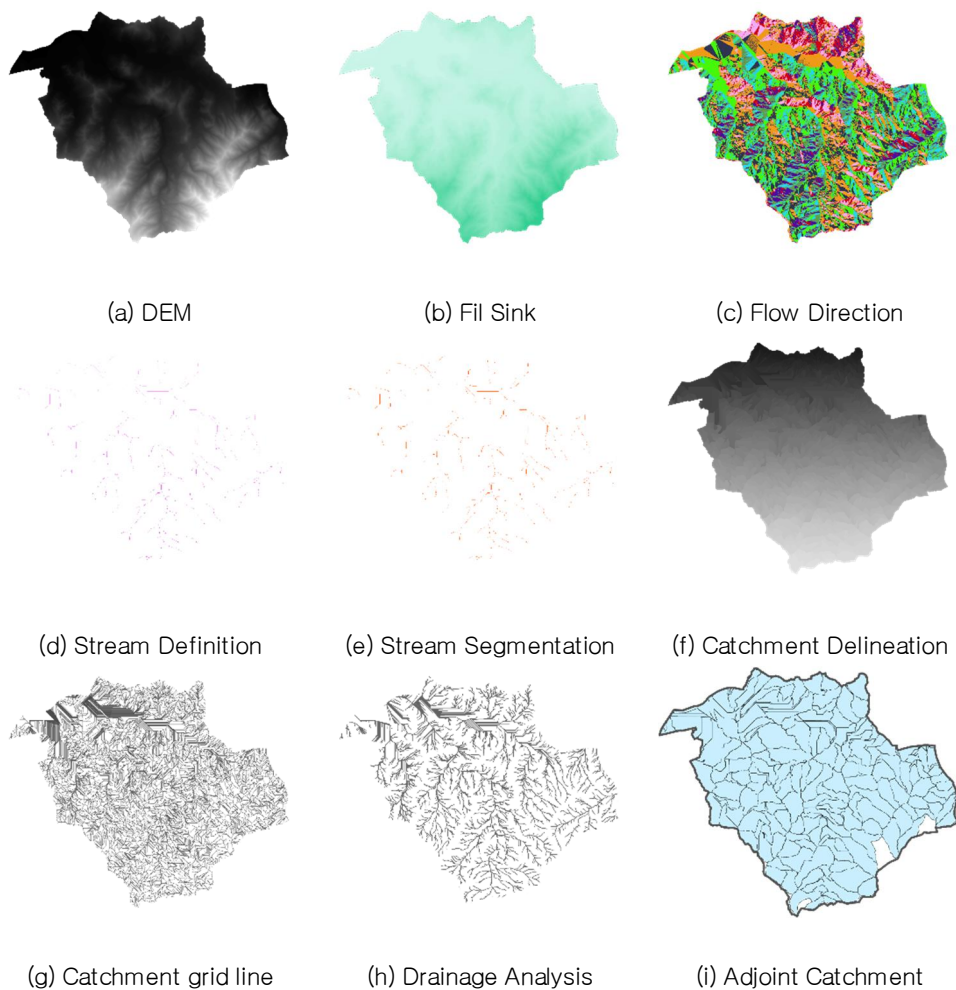


그림 12 유역(Catchment)의 분석과정

수문 분석의 기초가 되는 유역을 설정함으로써 강우 요인의 영향을 받는 토사재해의 개념에 맞는 유역을 결정할 수 있다. 등고 및 건물 DB의 경우 국토지리정보원에서 제공하는 연속수치지형도를 사용하였다. 관악구의 DEM 데이터를 가지고 데이터의 그림 12과 같이 속성값이 빠져있는 데이터들의 필드값이나 Sink를 먼저 채운다. 그리고 지형을 따라 흐르는 물의 흐름을 분석하고, 이에 따라 하천선과 배수선을 분석한다. 하



천의 흐름 방향을 분석하고 최종적으로 설정할 유역의 적절한 사이즈를 찾아서 지형 데이터를 통해 얻을 수 있는 산지의 유역을 구분하였다.

산지 유역 중에서는 행정구역 경계 내 일부 구간이 분석 결과로 나타나지 않았는데, 이는 결과 값의 중첩 과정에서 일부 유역이 서울시와 경기도의 경계부 위치해 경기도권역의 유역으로 분리되었기 때문이다. 따라서 분석에서 제외된 유역은 직접적으로 관악구 남현동에 영향을 미치는 경사향을 가지고 있지 않아 사전 분석에서 제외 되었으므로, 최종 결과 산출 과정에서도 생략하였다.

## 제 5 장 분석 결과

### 5.1 유역 분석 결과

Arc GIS의 Hydro플러그인으로 분석한 결과는 그림 13와 같았다. ‘남현동’ 행정구역 경계 안에 속하는 17개의 유역과 한 유역의 경계가 서초구 ‘방배동’ 과 중첩되어 나타난 유역 4개소, 경기도 과천시에 중첩되어 나타난 유역 1개소로 총 22개의 유역이 분석되었다. 그림 13에 분류된 유역 22개소 중에서, 유역 8, 10, 11, 21의 4개소가 방배동과 중첩되어 상호 영향을 주고받고, 유역 19의 경우는 경기도 과천시의 유역의 영향권으로 분류되었다.

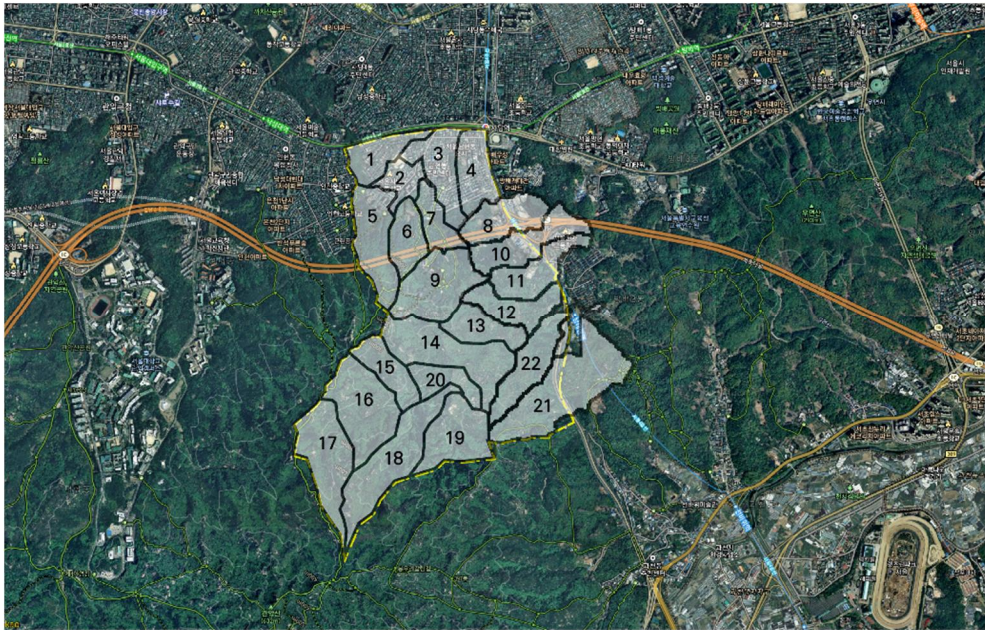


그림 13 남현동 일대 대상지의 유역분석 결과

각각의 유역들은 최소 0.01 *ha*에서 최대 31.1 *ha*에 이르기까지 그 편차의 분포가 크기 때문에 1 *ha* 미만의 유역은 인접 유역과 합하여 적절한 유역 구간을 설정하였다. 구분된 유역들을 대상으로 면적 산지 표고와 경사향에 따라 산지의 상, 중, 하부로 나누어 생활권과의 인접도를 살펴보았다. 사전 현장답사 이후 발견한 점들을 고려하여 주요한 문제가 있는 구간을 생활권 인접 산지 및 유역으로 범위를 한정했다.

## 5.2 유역 인과관계 설정

나뉘어진 세부 유역들의 표고와 경사도 결과값을 통해 각 유역 간 인과관계를 그림 14와 그림 15와 같이 분석하였다. 토사의 이동 경로가 상부로부터 침식, 이동, 그리고 퇴적의 순서로 이루어진다는 점을 고려하여, 영향 및 피해지역은 다음의 가정 하에 산정될 수 있다.

<가정 1> 토사는 강우와 함께 이동된다

<가정 2> 토사는 표고가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다.

<가정 3> 유역의 토사는 동일한 경사향으로 이동한다.

<가정 4> 토사로 인한 피해는 산지보다 생활권에서 더 크다.

라는 4가지의 가정을 설정하였다.

표고와 경사향을 고려하여 그림 16과 같이 남현동 내 유역의 상중하를 구분하였다. 개별 방재 기술이 설치될 수 있는 여건이 다르기 때문에 이와 같이 먼저 분류 하였다.

먼저, 유출 및 영향유역의 인과 관계에 따라 실제 토사의 유출 피해가 클 것으로 사려 되는 생활권 인근의 유역을 판단하고, 흐름을 통해 상중하를 구분하였다.

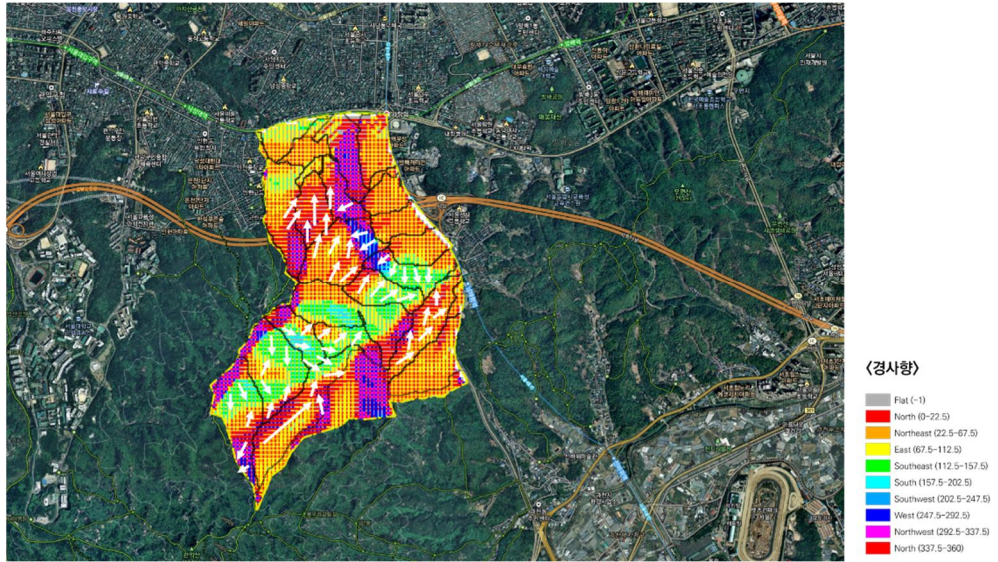


그림 14 남현동 지역의 경사향

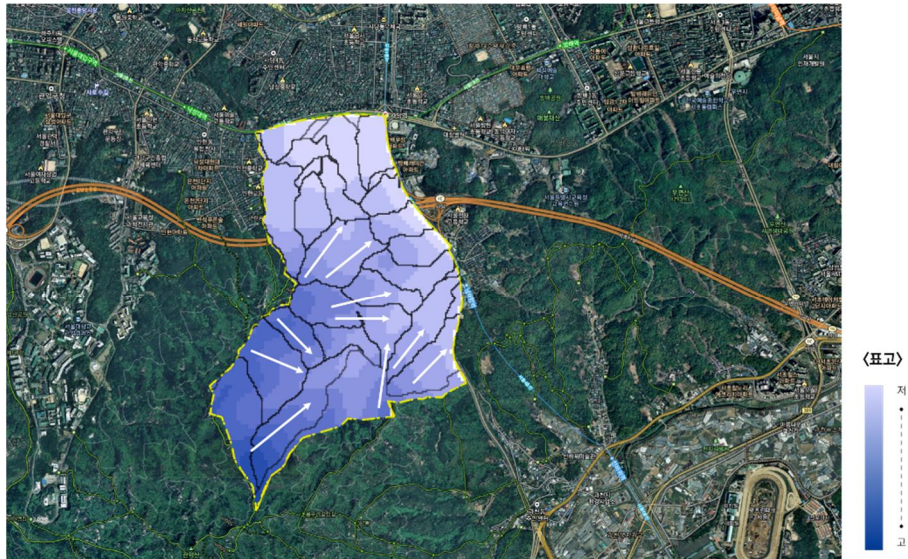


그림 15 남현동 지역의 표고



남현동 유역 산지 하부로 내려올수록 북동쪽으로 상부영향의 흐름이 이어졌다. 결과적으로 현재단계에서 유출영향이 크지 않은 지역일지라도 장기적 관점을 두고 보았을 때 그 유출영향지역이 확장된다. 이에 따라 영향을 받게 되는 인접유역의 범위 또한 산지에서 생활권으로 확장되기 때문에 인과관계 파악은 추후 기술 설치의 중요한 바탕이 된다. 즉 유출 유역 상부에서 발생한 토사량이 이동하면서 최종적인 피해 중착점은 산지의 하부가 되므로, 발생 유역과 이동, 그리고 피해 유역에 대한 대응이 구별되어야 함을 의미한다.

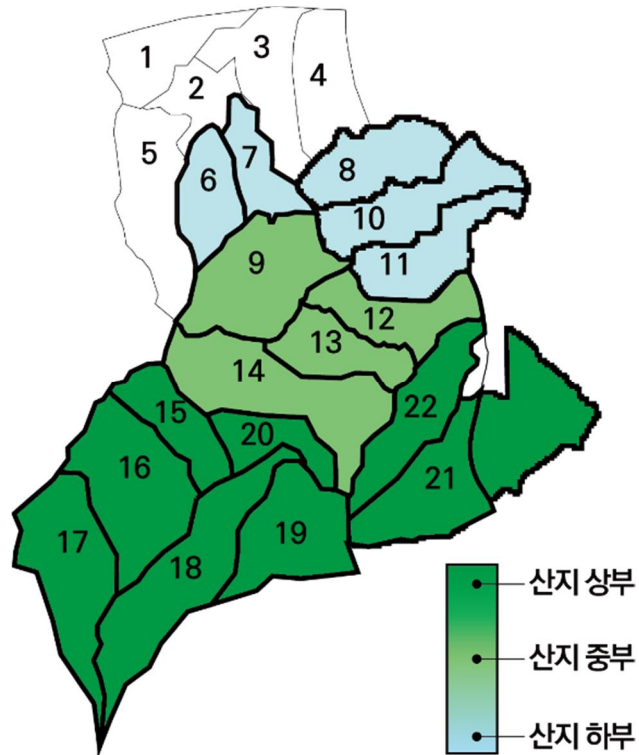


그림 16 산지 표고에 따른 상중하 구분

따라서 그림 16에서 산지 표고가 높고, 유출량이 큰 산지 상부와, 상부와 인접해 있지만 생활권과 직접 맞닿아 있지는 않은 산지 중부, 그리고 산지 하부로 구분하였다. 산지 상부는 주요 토사의 발생지점이 되므로 ‘유출유역’으로, 산지중하부는 토사의 종착점이자 영향을 직접적으로 받게 되는 영향유역으로 구분하였다.

### 5.3 토사유출량

구분된 개별 유역들을 바탕으로, 각 유역에서 발생할 수 있는 토사의 유출 분석값을 나타내었다. 표 13과 표 14는 개별 유역에 남현동 관측소의 강우이력데이터 중에서 최대값으로 나타난 148 *mm*의 강우가 24시간동안 같은 양으로 내릴 때, 기후변화 시나리오상의 RCP 8.5 단계의 증가율을 보인다고 가정하고, 2100년까지의 10년 단위 확률 예측 분석을 시행한 결과이다.

식(3)에 각각의 강우 데이터와 공간화 한 토지이용정보를 입력하여 최종적인 유출량을 산출하였다.

표 13 남현동 유역의 기후변화 시나리오별 토사유출량(2021~2060년)

FID	유역면적 (ha)	현재 (m³)	2021 ~2030 년	2031 ~2040 년	2041 ~2050 년	2051 ~2060 년
1	13.1	49.5	56.8	53.4	65.5	72.5
2	5.6	19.3	22.1	20.8	25.5	28.3
3	12.6	44.9	51.4	48.4	59.3	65.7
4	14.3	51.2	58.7	55.2	67.7	75.0
5	19.3	63.1	72.3	68.0	83.5	92.4
6	10.8	33.7	38.6	36.3	44.5	49.3
7	8.6	28.2	32.3	30.4	37.3	41.3
8	8.2	47.8	54.7	51.5	63.2	69.9
9	21.8	68.0	77.9	73.3	90.0	99.6
10	9.4	51.6	59.1	55.6	68.2	75.5
11	9.9	43.1	49.4	46.5	57.0	63.1
12	12.5	39.7	45.4	42.7	52.5	58.0
13	11.5	35.8	41.0	38.6	47.3	52.4
14	25.1	109.4	125.4	117.9	144.7	160.2
15	9.7	30.3	34.7	32.6	40.0	44.3
16	23.6	73.2	83.9	78.9	96.9	107.2
17	31.1	96.8	110.9	104.3	128.0	141.7
18	24.5	76.3	87.4	82.2	100.9	111.7
19	54.1	13.9	43.4	49.7	46.7	57.4
20	9.1	28.2	32.3	30.4	37.3	41.3
21	14.9	116.4	133.3	125.4	153.9	170.3
22	17.1	90.2	103.3	97.2	119.3	132.0
합계	366.8	1210.6	1414.6	1339.5	1629.3	1808.8

표 13은 2021년부터 2060년까지 발생될 수 있는 토사유출예측값을 나타낸 것이다. 재난 저감에 대해 현재 추세가 지속될 경우, 현재 남현동 유역에서 24시간동안 발생할 수 있는 최대의 토사량은 366.8 *ha*에 1,210.6 *m*<sup>3</sup> 지만, 2051~2060년에는 1,808.8 *m*<sup>3</sup>로 증가하게 된다.

표 14 남현동 유역의 기후변화 시나리오별 토사유출량(2061~2100년)

FID	유역면적 (ha)	현재 (㎡)	2061 ~2070 년	2071 ~2080 년	2081 ~2090 년	2091 ~2100 년
1	13.1	49.5	61.7	64.4	69.5	61.8
2	5.6	19.3	24.0	25.1	27.1	24.1
3	12.6	44.9	55.8	58.3	63.0	56.0
4	14.3	51.2	63.8	66.6	71.9	63.9
5	19.3	63.1	78.6	82.0	88.6	78.8
6	10.8	33.7	41.9	43.8	47.3	42.0
7	8.6	28.2	35.1	36.7	39.6	35.2
8	8.2	47.8	59.4	62.1	67.0	59.6
9	21.8	68.0	84.7	88.4	95.5	84.9
10	9.4	51.6	64.2	67.1	72.4	64.4
11	9.9	43.1	53.7	56.0	60.5	53.8
12	12.5	39.7	49.4	51.6	55.7	49.5
13	11.5	35.8	44.6	46.5	50.2	44.7
14	25.1	109.4	136.2	142.2	153.6	136.6
15	9.7	30.3	37.7	39.3	42.5	37.8
16	23.6	73.2	91.2	95.2	102.8	91.4
17	31.1	96.8	120.5	125.8	135.9	120.8
18	24.5	76.3	95.0	99.2	107.1	95.2
19	54.1	13.9	63.5	54	56.4	60.9
20	9.1	28.2	35.1	36.7	39.6	35.2
21	14.9	116.4	144.8	151.3	163.3	145.2
22	17.1	90.2	112.3	117.2	126.6	112.5
합계	366.8	1210.6	1553.0	1609.5	1736.0	1554.3

표 14는 2061년부터 2100년까지의 예측 토사유출량이다. 21 유역이 산지 상부 유역으로 가장 높은 유출량을 보인다. 현재 대비 2091년~2100년의 유출량은  $343.7 m^3$  더 증가하여, 현재 추세로 저감없이 대책이 이루어지지 않는다면, 재난 위험이 가중 될 것이다.



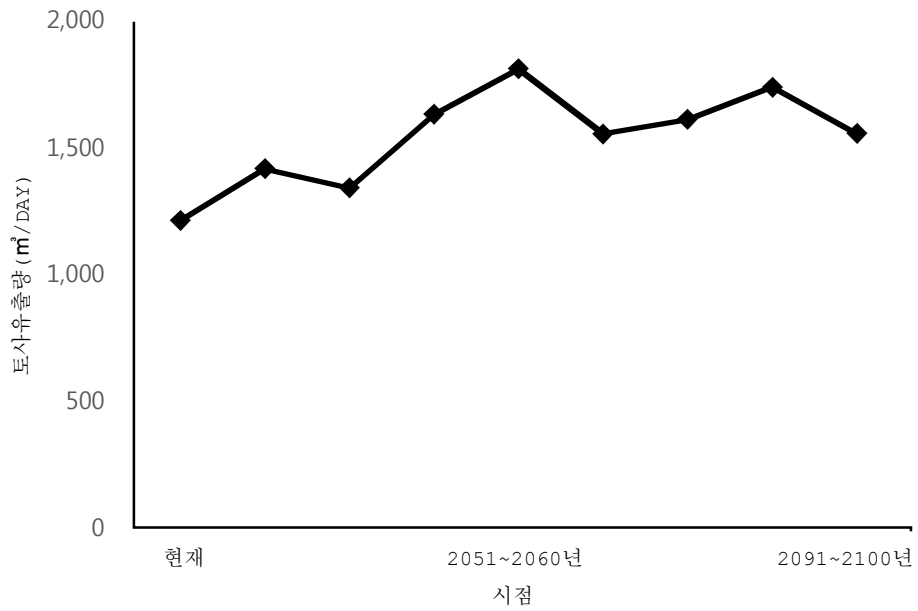


그림 17 전체 유역의 토사유출량

RCP 8.5 단계에서 현재시점부터 2100년까지 10년 단위 확률 분석을 시행했을 때 전체적으로 강우와 토사가 증가 추세를 보였으나 특히 2051~2060년 구간에서 재난의 위험이 가장 급격히 증가할 것으로

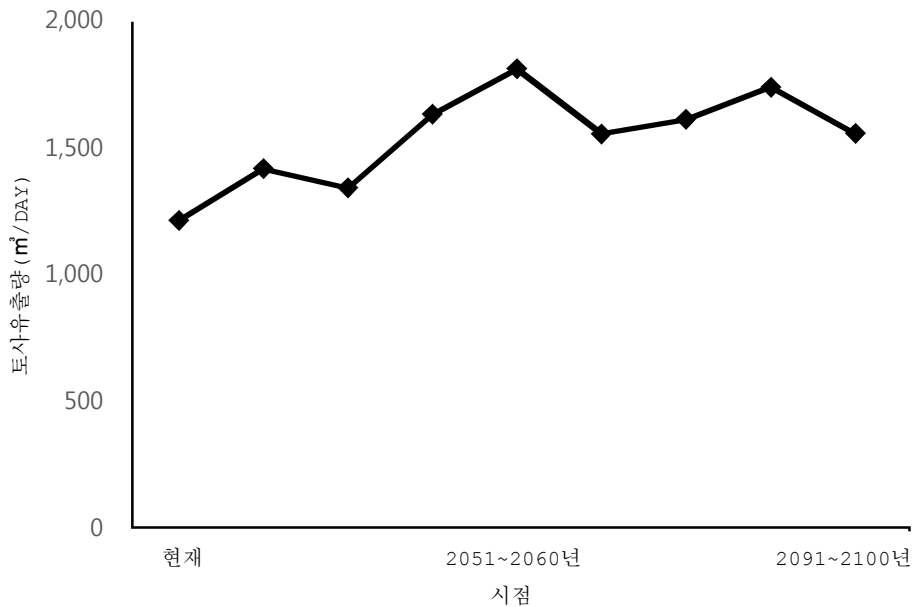


그림 17와 같이 예측되었다. 현재 남현동에서 다른 외적 요인이 배제된 상태에서 24시간 동안 강우 요인이 동일하게 작용했을 때, 하루 동안 약  $1,210.6 \text{ m}^3$ 의 토사량이, 2051~2060년에는 현재시점보다 약  $598.2 \text{ m}^3$  많은  $1,808.8 \text{ m}^3$ 가 나타날 것으로 예측되었다.

한편 2091~2100년의 토사유출 예측량은  $1,554.3 \text{ m}^3$ 으로 현재보다 약 28.3% 증가하지만, 2051~2060년 구간에 비해 작은 유출 수치를 보였다. 이는 RCP 8.5 시나리오에서 토사유출량의 확률적 분포는 증가 추세를 있으나, 시점 별 절대값이 시간에 비례해 증가하는 것은 아님을 시사했다.

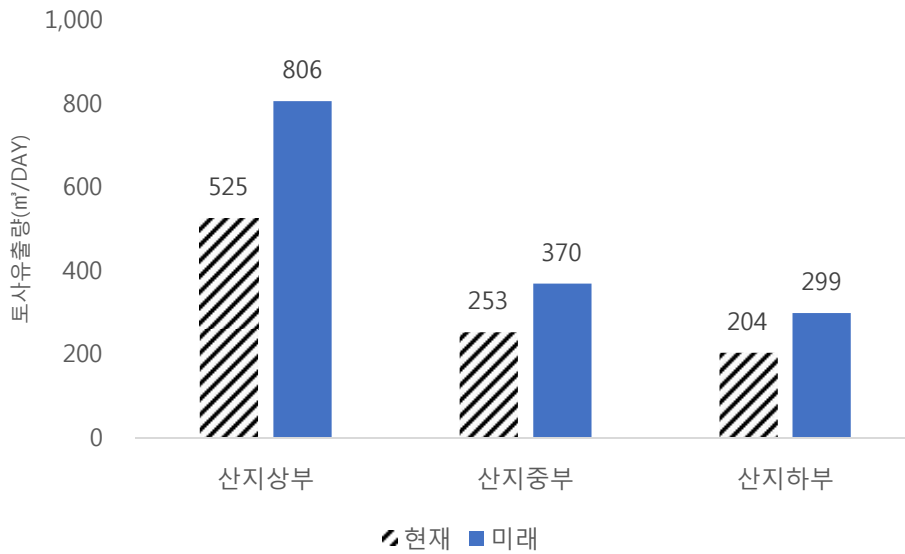


그림 18 산지 유역 및 시점별 토사유출량 비교

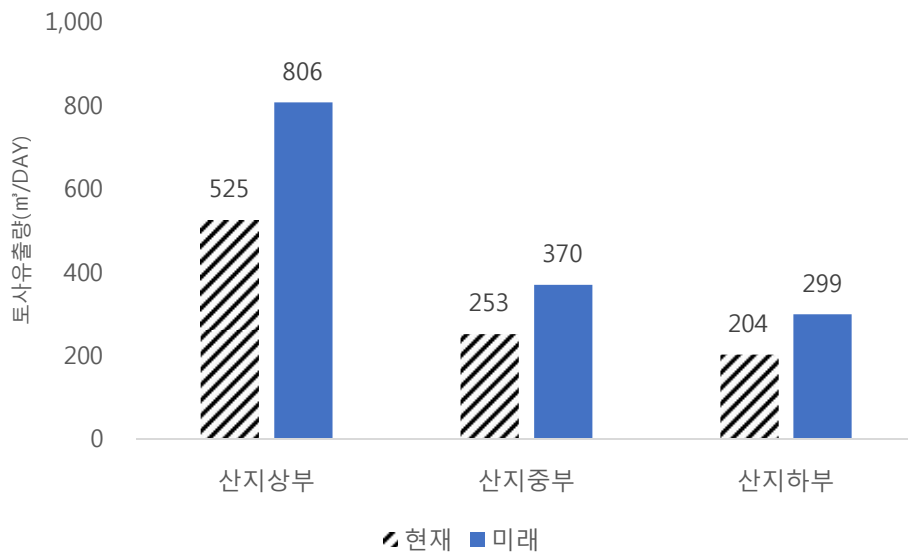


그림 18 은 상중하 유역 구분에 따른 토사유출량의 예측치이다. 예측 빈도 중에서 그 값이 가장 높았던 시점을 기준으로 산지의 상류에서는 하루 동안 약 806  $m^3$  가, 산지 중류에서는 370  $m^3$  가 생활권 인근

유역인 산지 하류에서는 약 299  $m^3$ 의 발생될 것으로 예측되었다. 산지 상류 유역의 전체 면적은 184.1  $ha$ , 중류는 70.8  $ha$ , 하류는 46.9  $ha$ 로 위험 유역의 면적이 큰 상류에서 더 많은 유출이 발생한다.

이는 기술의 의 최종 성능이 2051~2060 년의 재난 발생 가능성을 대비하여 806  $m^3$  보다 같거나 크게 설계되어야 함을 의미했다. 이에 따라 최종 설계 계획을 유역 구분에 따라 저감되어야 하는 설계 용량을 고려하여 산지 상류, 중류, 하류에 적합하게 요구되는 기술을 배치하고, 특히 생활권 인근 지역에는 이러한 유출이 가중될 위험을 고려하여 일정 구간에 방재 기술이 적용된 공간의 유형을 제안하고자 한다.

최종 설계 저수량은 연구 예측이 이루어진 2021 년부터 2100 년까지의 확률 유출량 중 가장 높은 예측치가 나타난 2051~2060 년까지의 시기별 토사유출량을 기준으로 표 13 의 결과값들을 기준으로 하여 설계 용량을 산정하였다.

예측된 유출 토사량을 기준으로 현재 시점에서 발생할 수 있는 최대 토사유출량과 기후변화 시기별 유출량을 비교해서 기술의 설치 필요 유역을 최종적으로 선정하였다. 먼저 남현동 유역을 유출량이 높고 산지 고도가 높은 곳에 위치한 ‘유출 유역’에 해당하는 산지 상부와 상부유역으로부터 유출의 영향을 상대적으로 많이 받는 ‘영향 유역’에 해당하는 산지 하부 생활권 인근 유역으로 나누어 산지 내의 환경에 따라 토사 유출의 인과관계를 우선 설정하였다.

따라서 2100 년까지의 시점에서 발생할 수 있는 토사유출의 대규모 재난을 막기 위해서는 적절한 권역별 설계가 이루어져야 하므로 유역의 세부 환경을 분석하여 설계를 제안한다.

## 제 6 장 종합 설계 및 효과

### 6.1 마스터플랜

유역과 유출량 분석을 바탕으로 기술의 공간적 배치 목표를 설정하고, 이에 따른 기술 설계 범위인 유역을 바탕으로 최종 마스터플랜을 제안하고자 한다. 공간적 범위는 관악구 남현동 내의 유역 분석을 통해 얻어진 내부 유역 16개소와 서초구 방배동에 걸친 4개의 유역을 전체 유역 대상으로 하였다. 세부 설계는 산지 중·상부에 필요한 사방 시설 및 침사지 시설의 규모에 따른 배치와 산지 하부 생활권 인근의 인문 사회적 특징을 고려한 방재 공간의 구체적 설계로 구분하여 제안한다.

그림 19은 최종 기술들이 모두 적용되었을 때의 마스터플랜이다. 토사유출량의 정량화 분석과 현장답사, 산지 표고와 경사에 따른 유역 분석에 따라 최종적으로 산지 유역을 산지 상류, 중류, 하류의 3개의 권역으로 분류하였고, 각각의 환경에 따라 배치될 방재 기술을 각 타입 별로 표 15에서 설정하였다.

실질적인 피해가 가장 큰 지역은 토사의 이동 특성에 따라 산지의 하부에 크게 나타날 것으로 예측되기 때문에, 산지 하부 생활권 지역은 공간의 세분화된 설계를 추가로 제안하였다.

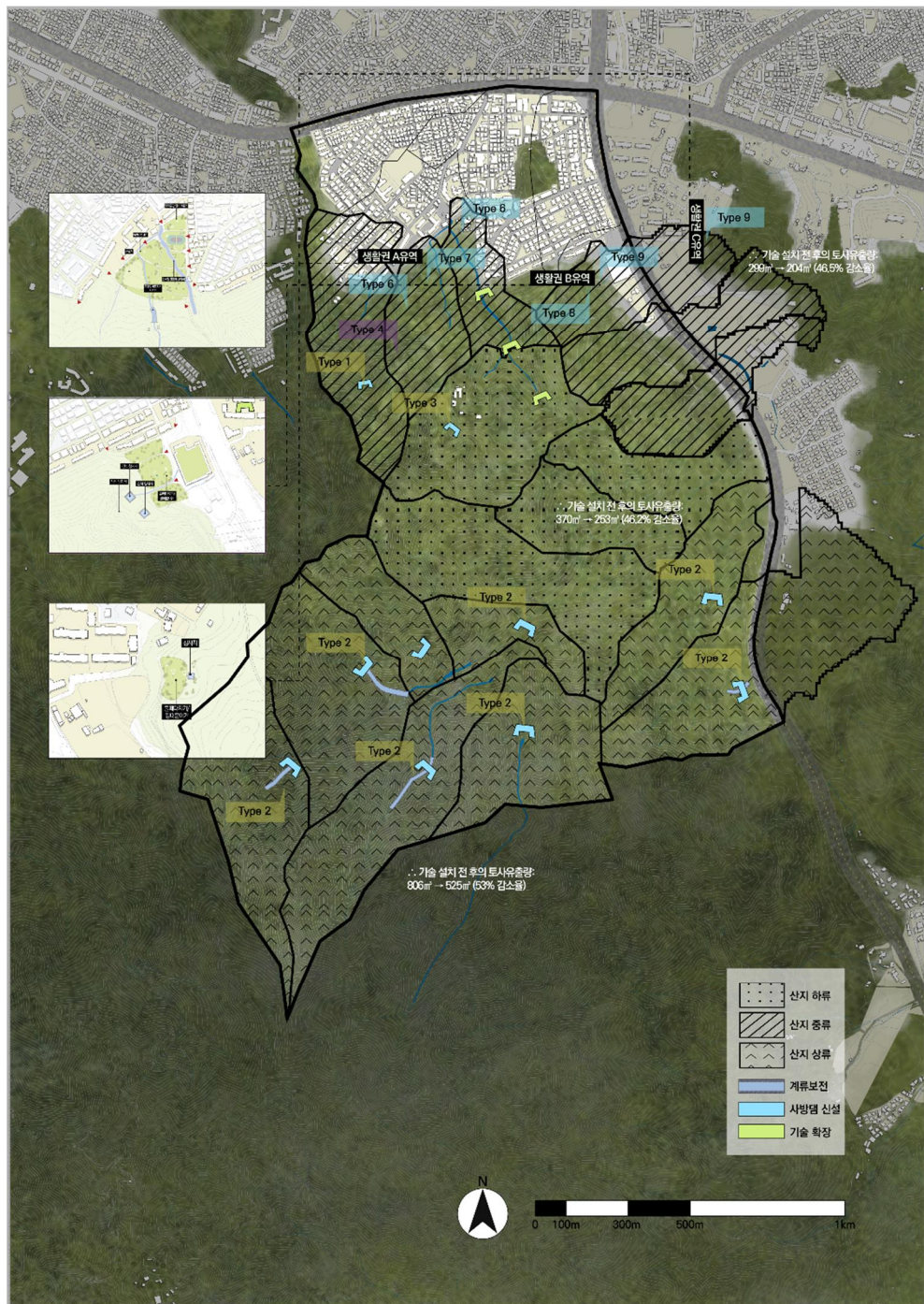


그림 19 종합 배치계획도

최종 유역 선정 결과에 따라 유역의 기후 및 환경 요소를 고려하여 유형화된 기술들의 배치를 제안하고자 한다. 산지의 특성별로 분류된 공간의 기준에 유역 단위를 바탕으로 방재시설을 배치하는 것을 목표로 한다. 먼저, 표 15에 분류된 유역별 세부 특성에 따라 방재기술적용을 위한 목표를 설정하였다.

Type 1 과 2 는 산지 상부 지역에 중점적으로 적용할 목표로, 사방시설의 설치 유무에 따라 기존 기술을 보완하여 용량을 추가로 설계할지 여부에 따라 분류하였다.

Type 3 는 경사가 급한 지형적 특징 때문에 대규모의 사방댐을 설치하기 어려운 구역을 설정하고 소규모 사방댐 설치를 제안한다.

Type 4 는 산지 중류 지역에서 평균 경사가 상부에 비해 낮지만 상부로부터 유입된 토사가 빠르게 이동하는 구간이다. 따라서 유도수로와 같이 토사가 다량 포함된 유수의 방향을 변경해주는 역할을 하는 기능이 중심으로 배치되도록 한다.

Type 5 는 산지 하부의 경우 생활권과 인접한 지역으로, 평균 경사가  $0\sim 20^\circ$  인 구간을 의미하며 산자락의 하단부에 위치하기 때문에 중상부로부터 발생한 토사가 마지막에 도달하는 곳이다. 이 때문에 배수를 잘 배분시켜 유출수가 모이거나 한번에 많은 양의 토사가 내려오지 않도록 하는 것이 중요하다. 그러나 기술적 효과만을 위하여 대규모 방재시설을 직접적으로 생활권에 인접하여 설치하는 것은 인근 주민들에게 혐오감을 줄 수 있으므로, 아파트 전면의 유휴부지를 활용하여 간접적으로 유수를 저감시켜 줄 수 있는 다목적 저류 공간을 조성할 수 있도록 하였다.

Type 6 에서는 오픈스페이스를 조성하여 침두시 세류 계곡의 범람을 대비한 침투잔디를 설계하도록 제안하였다.

Type 7 의 경우, 토사의 유실을 방지하면서 과도한 유수의 유입으로 인한 범람을 방지할 수 있는 다목적 게비온 앓음벽을 제안한다.

Type 8 은 토성의 대부분이 암석으로 이루어져 있어 불안정한 지반의 토석류의 발생을 방지하기 위하여 낙석방지시설 시공을 제안한다.

Type 9 와 같이 경사도가 낮은 평지에서는 지표를 따라 흙이 쓸려 내려가는 것을 방지하기 위해 유수를 막아 저사 시키는 기능을 할 수 있는 소규모 침사지의 설치를 제안한다.



표 15 유역의 기후 환경 별 계획 목표 설정

구분	세부	기후 및 환경 요소	계획 목표
산지 상부 (설계량: $806\text{ m}^3/\text{day}$ )	Type 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>토사유출량이 증가될 것으로 예측된 구역이나, 기조성된 사방시설이 있어 높이를 조정하여 보완해야하는 곳</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사방댐의 유효고를 조정하여 저사량을 늘임</li> <li>연계 시설로 침사지를 조성하여 저사량을 증대</li> </ul>
	Type 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>기 조성된 사방댐이 없어 신규로 사방댐 시공이 요구되는 곳</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>불투과형 사방댐을 조성함</li> </ul>
	Type 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>평균 경사도: <math>30\sim40^\circ</math></li> <li>토석류 및 토사유출 발생 계곡부</li> <li>경사가 급한 산지 종류</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>토석류 및 산사태 방지를 위한 소규모 댐 조성 제안</li> </ul>
산지 중부 (설계량: $370\text{ m}^3/\text{day}$ )	Type 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>평균 경사도: <math>5\sim10^\circ</math></li> <li>산지 세류 계곡부에 인접한 경사면</li> <li>아파트와 산지 인접부의 배수로의 연계 마련이 고려되는 지역</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>유도 수로 설치를 통해 산지계곡에서 흐르는 물의 양과 방향을 분배</li> </ul>
산지 하부 (설계량: $299\text{ m}^3/\text{day}$ )	Type 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>평균 경사도: <math>0\sim5^\circ</math></li> <li>관악산 자락 하단 위치</li> <li>생활권 내 아파트와 옹벽 없이 바로 인접하여 산사태 발생시 실질적 피해가 클 것으로 우려되는 지역</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>아파트 전면 주차공간 및 유휴 부지를 활용한 다목적 저류 공간 조성</li> </ul>
	Type 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>평균 경사도: <math>10\sim20^\circ</math></li> <li>생활권의 진입부</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>오픈스페이스 조성</li> <li>첨두시 세류 계곡의 범람을 대비한 침투 잔디 설계 제안</li> </ul>

	Type 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>경사가 상대적으로 완만한 산지 중턱</li> <li>건기시 방치된 기 조성 흙막이 시설의 기능적 개선 제안</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>다목적 기능 수행의 계비온 벽 설치(토석류 방지, 유수 배수로, 공원 벤치 등의 역할)</li> </ul>
	Type 8	<ul style="list-style-type: none"> <li>암석지반의 절토사면이 방치되어 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>암석지반의 낙석 추락을 막기 위한 시설 설치 제안</li> </ul>
	Type 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>평지가 넓게 위치해 있는 지역</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지표 흙의 유출을 막기 위한 침사지 설치 제안</li> </ul>

## 6.2 부분 계획도

### 6.2.1 산지 상부

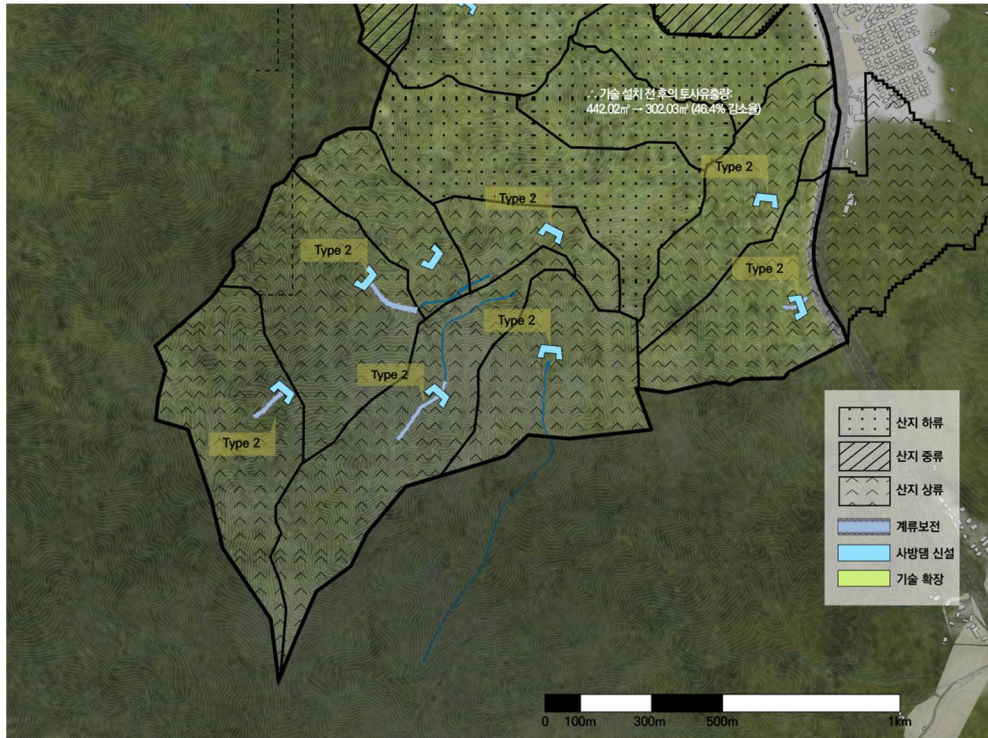


그림 20 산지 상부 기술 배치 세부

산지 상부에 제안될 수 있는 3가지 Type 의 기술 중에서, Type 2와 3에 해당하는 사방댐 시설은 그림 20과 같다. 상류 계곡부의 하상구배에 적합한 크기의 사방시설 조성이 필요하기 때문에, 평균경사도가 10도 이상인 급경사지에 적합한 G3 공법을 사용한 사방 시설을 조성한다. G3 블록은 토석을 막아주고 블록 틈 사이로 물은 방류되어 부유물이 중, 하류로 이동 및 퇴적되는 효과가 있다. 또한, 지천에서 유입되는 토석이 유수와 함께 댐으로 퇴적되어 수위 상승에 의한 수해와 급경사지 토석류 재해를 방지할 수 있다.

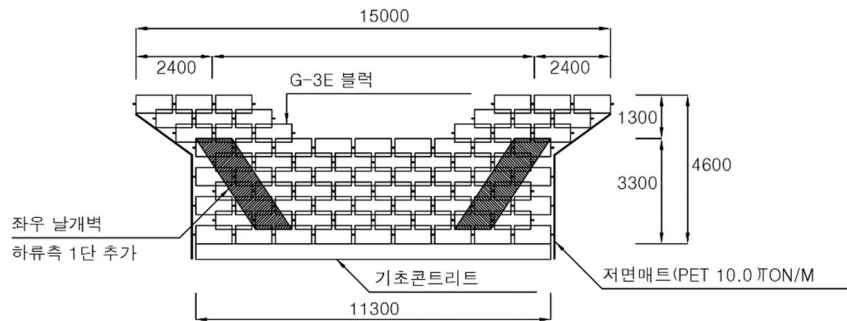


그림 21 도면의 정면도<sup>⑧</sup>

그림 21과 같이, 생활권 인접 관악산 상부 계류의 하상 구배 면적에 맞추어 약 10m 규모 설계안을 제안한다. 급류가 발생할 것을 예비하여 하류 양측구에 좌우 날개벽을 별도로 두어 안전성을 증대시키고자 하였다.

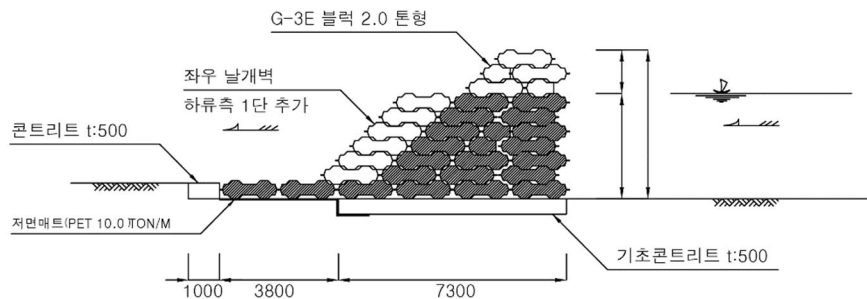


그림 22 G3 사방댐의 측면도<sup>⑧</sup>

그림 22과 같이, 측면 하부에는 기초 콘크리트를 깔아 지반을 다지고, 댐 높이를 계획 수위의 1.2 배 가량으로 설계한다. 기존 바닥흙막이와 연계되어 배수될 수 있도록 조성하여 상부로부터 발생하는 토석류의 1

<sup>⑧</sup> 참고: 성원 이엔지(<http://mysweng.kr>)

차 차단 이후 단계적으로 토석류와 부유 토사가 산지 흐름에 따라서 퇴적될 수 있도록 유도한다.

기술의 규모는 유역 내 발생할 수 있는 모든 토사량을 막아주는 최대치의 설계로, 저수량 규모는 각 유역 별로, 현재 저감 기술이 없고, 미래 시점에 설치될 기술이 토사의 유출량을 모두 막아준다고 가정하여서 총 805  $m^3$ 의 토사를 모두 저감할 수 있도록 규모를 산정한다.

## 6.2.2 산지 중부

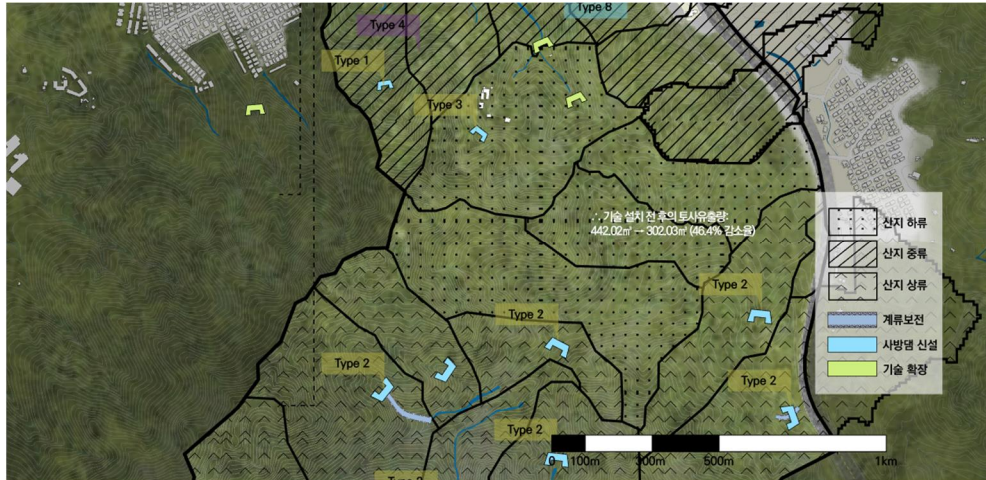


그림 23 산지 중부 기술 배치 세부

그림 23은 산지 중부의 기술 배치 세부도를 나타낸 것이다. 산지 중부는 표 15에 나타난 바와 같이 산지 상부에서 발생한 토사가 하부로 유출되는 것을 저감해줄 수 있는 기술을 중심으로 설치하고, 기존에 설치되어 있는 사방댐의 용량을 확장하는 것을 중심으로 기술의 배치가 이루어지도록 제안한다.

유역의 서쪽 구간은 산지 중·하류로, 비교적 경사가 완만하지만 계곡 상류로부터 유입되는 토사를 막아줄 수 있는 세류 인근에 배수구가 있지만 식생과 토사로 인해 배수로가 자주 막히는 지역이므로, 토사는 자연스럽게 이동하면서 유출수는 흡수되는 침투 잔디 파종공을 식재하여 자연 저류 기능을 준다. 또한, 다수의 활엽수를 식재하여 식생의 뿌리를 통한 지반 안정성을 향상시켜주는 방향을 장기적으로 모색한다.

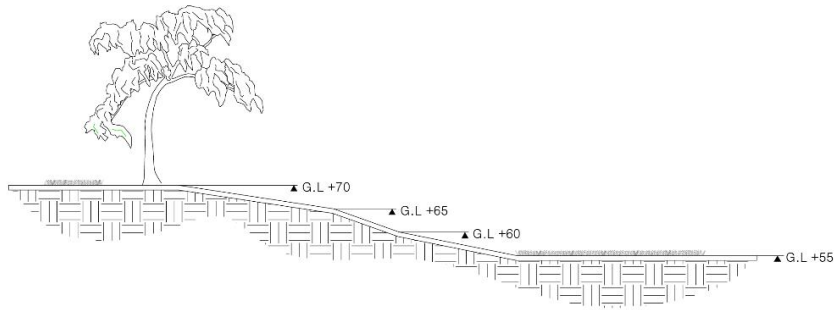


그림 24 파종공 식재 개념 단면도

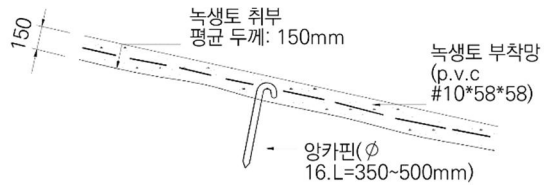


그림 25 파종공 식재 세부 개념도

그림 24, 그림 25과 같이 경사부에는 핀을 통해 고정된 녹생토를 규칙적으로 배치하여 식생이 자리를 잡기 전까지 빗물이나 흙에 쉽게 쓸려 내려가지 않도록 단단히 고정시키는 파종공 식재와 녹화공법에 대해 나타낸 것이다. 경사면을 따라서 파종공이 단계적으로 배치되도록 하여 식생이 뿌리를 내리고 자연적으로 안정될 때까지 쓸려 내려가지 않도록 조성한다.

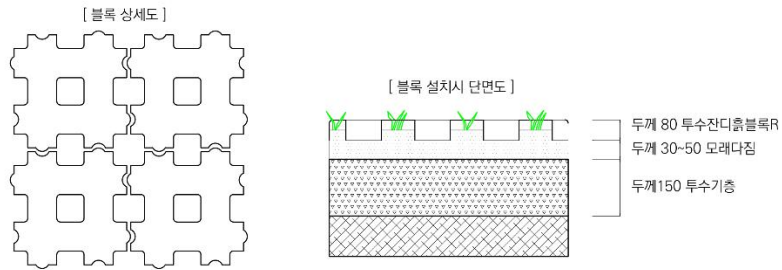


그림 26 투수형 잔디블록 개념도

그림 26과 같이 완만한 평지에는 투수형 잔디 블록을 설치한다. 투수형 잔디 블록은 남현동 산지 상부의 지표 유출수를 저감하고 자연 흡수시키면서 유수를 따라 유입될 수 있는 토석류를 식재 뿌리로 안정시켜 토양의 유실 가능성을 낮추는 역할을 한다.



### 6.2.3 산지 하부

산지 하부의 설계는 생활권과 직접 인접하여 대규모의 방재시설을 설치할 수 없는 대신, 주민들의 편의와 가치를 고려하여 유출 저감의 효과도 있으면서 방재 기술의 비방재적 역할 및 공간의 기능 비수행 시의 활용 가능성을 고려하여 설정하였다. 세부 권역은 그림 27와 같다. 하부 유역 중에서도 현장답사지를 중심으로 개선이 필요했던 주요한 A, B, C의 유역에 대하여 각각 세부 기술을 제안한다.



그림 27 산지 하부 생활권 유역 구분



그림 28 A 유역 기술 세부 배치도

그림 28 은 생활권 인근의 A 유역에 세부적으로 배치될 기술들을 도식화하여 나타낸 것이다. 하부 지역은 생활권과 인접하여 있기 때문에, 주민들에게 위해감이 없도록 기피도가 높은 대규모의 시설을 피하고 소규모로 적용이 가능하면서 주민들에게 쉼터가 될 수 있는 기능을 중심으로 배치하였다. Type 5 의 목표와 같이, 산지 최하부에 위치한 아파트 인근 주차장을 저류공간으로 활용하도록 제안한다. Type 6 의 목표에 따라 생활권과 위험산지의 버퍼공간이자 평상시에는 오픈스페이스로 이용될 수 있는 이격 공간을 조성하여 오픈스페이스 내 녹지를 조성하여 지표로 발생하는 유수와 함께 발생하는 토사를 감소시킬 수 있도록 한다. Type 7 의 계비온형 앓음벽은 산지로부터 흘러 내려오는 세류가 흘러넘치지 않도록 세류 계곡의 옆을 따라 배치되도록 제안했다.

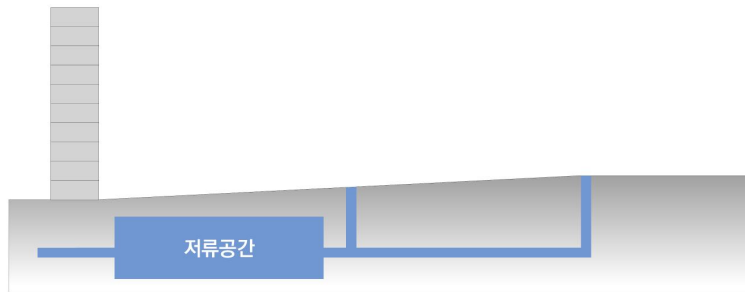


그림 29 주차공간 연계 저류 공간 마련 개념도

그림 29과 같이 Type 5에 적합한 다목적 저류 공간이 아파트 전면 주차장과 함께 연계될 수 있도록 조성한다. 산지 상부에서 내려오는 계곡 유수와 토사가 합쳐지는 유역이므로 갑작스럽게 많은 비가 내리는 등의 유량이 증가하게 될 경우를 대비하여 주민 편의시설로 활용하면서 다목적 사용이 가능한 저류 공간을 제안한다.

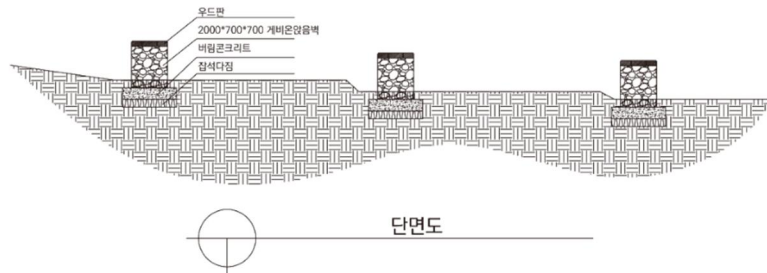


그림 30 게비온 양음벽의 개념도

Type 7과 같이 지역 내에서 발생하는 암석들을 모아 그림 30와 같은 형태의 게비온형 흙막이를 제안한다. 유수에 의한 토석류의 유입이 적은 건기 때에는 주민들을 위한 휴게 벤치 및 조명시설로 그 역할을 다양하게 활용할 수 있으며, 콘크리트 벽에 비해 미적 가치가 큰 시설물로 조성하여 활용할 수 있다.

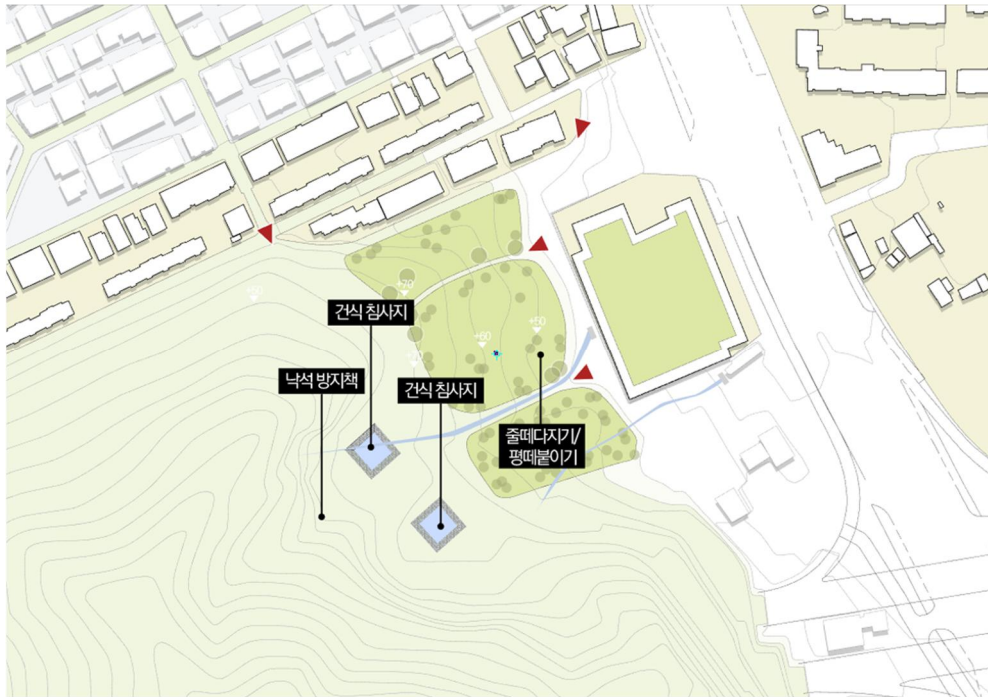


그림 31 B 구역 기술 세부 배치도

생활권 인근 B 구역은 그림 31 과 같이 과거 채굴장으로 이용되었기 때문에 암석지반이 방치되어 있고, 암석사면의 바로 앞에는 주민들의 농경지가 위치해있다. 이 때문에 강우 시 발생하는 토석류로 인한 농경지의 훼손과 생활권까지의 유출이 우려되는 구역이다. 이 때문에 암석 사면에 대해 낙석방지책을 세우고 침사지를 설치해 집중강우나 호우가 왔을 때에도 낙석아 암석 사면으로부터 유실되지 않도록 한다.

구역의 동측에 위치한 건물 하부에 있는 저류시설과 연계되도록 기술을 배치하여 개별 기술의 효과가 서로 상호 작용하여 극대화될 수 있도록 연계할 것을 제안한다.

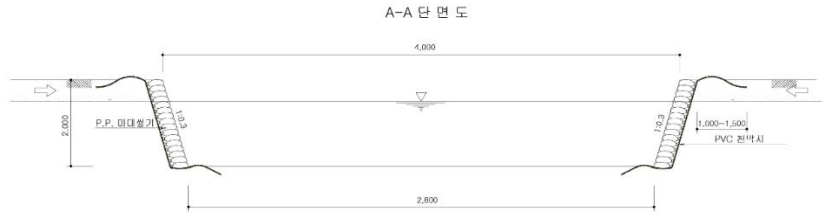


그림 32 건식 침사지 시설 규격 예시

그림 32 는 건식침사지의 기본 규격에 대한 예시 단면을 나타낸 것이다. 암석사면에서 발생할 수 있는 토석류와 인근 산지의 유실 토사를 저사시키는 역할을 할 수 있도록 제안한다.

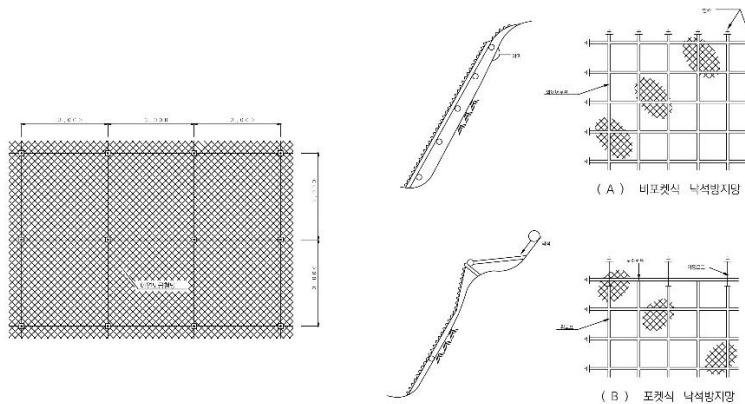


그림 33 낙성방지망 상세 예시도<sup>⑩</sup>

암석사면에는 그림 33 과 같이 낙석을 방지할 수 있는 시설을 설치하여 우기 시 발생할 수 있는 암석의 낙하를 방지하고, 사면을 안정시켜 원활하게 배수가 이루어지고 산사태 고위험 지역의 재나 발생 가능성을 저감한다.

<sup>⑩</sup> (주) 수형산업개발(<http://www.soohyung.co.kr/>)의 공개 자료를 활용하였음.

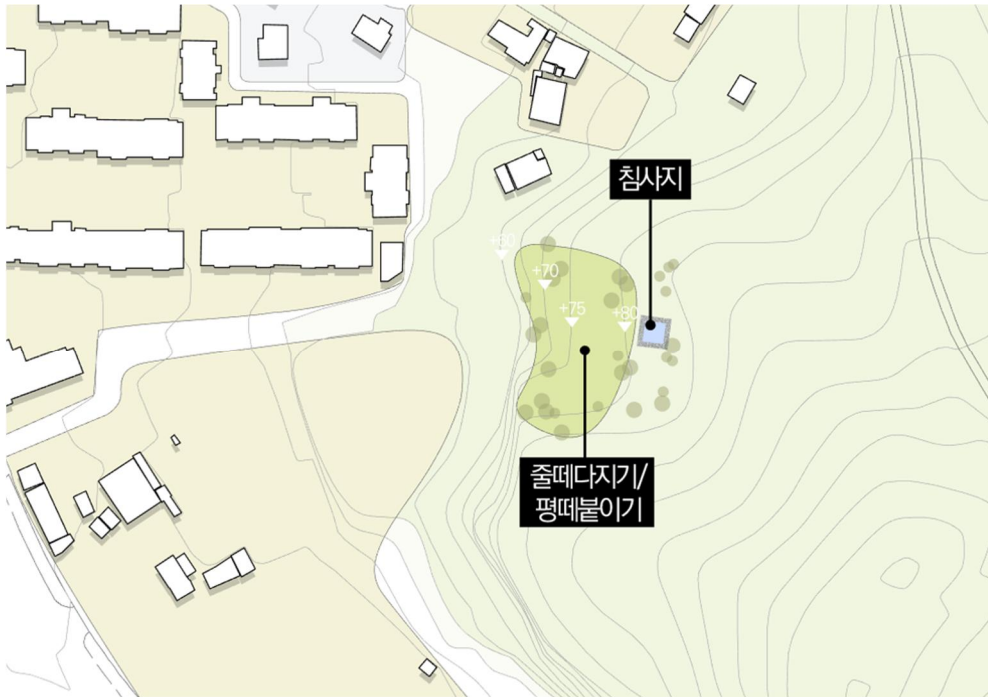


그림 34 C 구역 기술 세부 배치도

C 구역에서는 그림 34 와 같이 관악산의 자락은 아니지만 위험산지로 나타난 장군봉에 바로 인접해있는 아파트부지로의 토사의 유출을 방지하기 위해 황폐사면에 녹화시공을 진행하도록 제안한다. 또한, 다량의 마사토가 분포되어 있는 지형적 특징을 고려하여 강우로 인한 토사의 지속적 유출을 저감하기 위해 Type 8 의 가이드에 따라 그림 32 와 같이 침사지를 설치하도록 제안하여 배치하였다

## 6.3 최종 효과

RCP 8.5 시나리오에 의해 현재시점부터 2100년까지 발생할 수 있는 토사유출량에 대해 살펴보았다. 최다 유출이 있을 것으로 예측된 2051~2060년 시점의 유출 예측량  $1,808.8 \text{ m}^3$ 에 대해 미래 시점을 기준으로 방재 기술의 규모를 최대치로 설정하여 배치할 경우, 하루 동안 저감 될 수 있는 토사의 유출량을 살펴보았다.

산지 상부의 경우 유역에서 발생하는 토사의 유출량이 하부보다 크고 유역의 면적도 더 넓게 분석되었다. 이는 산지 상부가 지형적으로 경사가 급하고 험준한 곳이 대부분이기 때문에, 강우 유역 계수 산정 과정에서 유출 비율이 높은 계수가 다수 선정되었기 때문이다. 따라서 설계 목표에 따라 유역 내 토사유출 규모예측치에 맞는 기술을 설치하게 되면, 상부에서만 총  $806 \text{ m}^3$ , 약 53%의 일간 토사유출량 저감 효과가 있을 것으로 예측된다.

산지 중부와 하부의 경우, 상부보다 전체 유역 면적의 크기는 컸지만, 실제 토사의 발생 비율이 낮게 나타났다. 그러나 토사는 발생 유역에서 가장 높은 영향을 미치지만 산지 전체로 살펴봤을 때, 지형적으로 낮은 고도와 동일한 경사향을 가진 곳으로 산지 계곡을 따라 흘러내려올 가능성이 크므로, 상부의 유출 영향이 다른 유역에서 완전히 배제된다고 할 수는 없다.

이와 같은 특성 때문에, 산지 중부에서는 상부에서 발생하는 토사의 방향을 이동시켜 외부로 유출시키고 유사의 속도를 저감할 수 있어야 한다. 하부에서는 산지 상부와 중부로부터 한꺼번에 발생할 수 있는 토사의 양을 분산시키는 기술을 중심으로 배치하여, 중부에서 최대  $370 \text{ m}^3$ , 하부에서 최대  $299 \text{ m}^3$ 의 토사를 저감시킬 수 있는 효과가 있을 것으로 분석되었다.



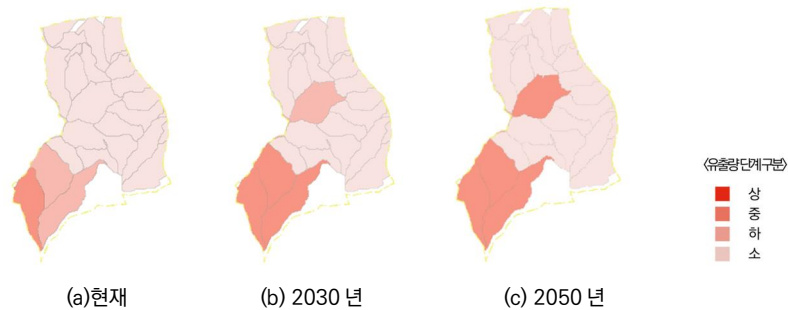


그림 35 기후변화 시기별 토사유출 및 영향 유역

유출량의 단계를 유출 영향 분포에 따라 4개의 구간으로 분류하여 각 유역에서 세부적으로 유출되는 유출량의 분포를 구분하였다. 현재 추세에서 높은 유역이 그림 35의 (a)와 같을 때, 아무런 대책이나 추가적인 저감 없이 현재의 추세가 그대로 이어진다면, 산지의 위험 유역은 점차 증가하여 (c)와 같이 산지 중부의 유역까지도 현재 시점에서 가장 높은 유역만큼 토사의 유출량이 증가되게 된다. 그러나 예측된 유역별 규모에 따른 배치 기술을 사용하여 2051년에서 2060년에 발생할 가능성이 있는 확률 재난의 최고치에 대해 저감했을 경우에는 유출량이 감소하여 기후변화에 의한 강우량의 증가에도 현재 수준과 같은 안전도로 2100년까지 발생할 수 있는 강우에 의한 토사유출량을 저감할 수 있다.

그러나 기술의 설계 빈도를 2030년으로 맞추어 규모를 산정하게 될 경우 2031년이 되었을 때, 전체 감소량이 10%가 되지만 2051년이 되면 다시 발생할 수 있는 재난이 35%정도 되어 25%의 오차 이상의 토사 재해가 발생하게 된다. 따라서 2100년까지의 기후변화 예측치를 참고하여 최대의 재난이 올 수 있는 시나리오에 따라 기후 기술을 적극적으로 설계할 때, 단기적(30년) 예측을 통한 설계는 이후의 위험에는 노출될 수 있기에, 장기적(100년) 예측의 필요성을 알 수 있었다.



## 제 7 장 결 론

본 연구에서는 서울시 내 토사 재해 위험지역을 중심으로, ‘서울시 관악구 남현동’ 내의 기후변화 단계 RCP8.5에 따라 2100년까지 발생할 수 있는 토사유출량을 분석 유역에 따라 정량화 하고 그 결과에 따라 유역을 구분하여 개별 목적에 맞는 방재 공간 해석과 설계를 진행하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫 째, 생활권 영역을 고려하여 유역을 설계할 수 있었다. 대상 유역은 관악산자락의 하류 지점과 생활권의 사이에 유희 부지가 있어, 유역을 단순 산지가 아닌 생활권을 포함하여 설정하였다. 유역 범위를 생활권을 포함한 결과 토사 유출 저감과 지표수의 투수를 원활하게 할 수 있는 시설물들을 경사도에 따라 배치하는 형태가 적합함을 확인할 수 있었고, 강우의 발생량이 상대적으로 적은 동절기에도 공간적 활용이 이루어질 수 있는 있게 기술을 제안할 수 있었기에 의의가 있다.

둘 째, 기후변화 예측시나리오를 고려한 재해의 위험을 예측할 수 있었다. IPCC 5차 보고서에서 제시한 RCP 8.5 경로 수준에서 발생할 수 있는 예측량을 기준으로 현재시점부터 2100년까지의 관악구 남현동의 토사의 유출량을 예측하였다. 빠른 속도로 진행되고 있는 기후의 변화 정도를 고려하여 토사 재해 관련 기술을 얼마만큼의 용량으로 규모와 배치를 해야할지 기후변화 시기별 정량화 예측값으로 제시할 수 있었다.

셋 째, 토사 재해에 대한 방재기술의 디자인 가이드를 제시할 수 있었다. 기후변화 정도를 고려하여 산출한 각 유역의 토사량을 바탕으로 유역별로 분류하여 특성에 맞게 상, 중, 하로 구분하고 각각 여건에 적합한 기술을 제안할 수 있었다. 거시적 차원에서 재난에 대한 분석을 바탕으로 마스터플랜을 제안했다는 점에서 의의가 있다.

선진 국가에서는 이미 토사재해와 관련된 개념을 도시에 접목하여 엔지니어링적 측면과 도시의 미적 고취를 함께 함양하고자 하는 기본 설계 계획안을 채택하고 있다. 또한, 정확한 데이터의 측정과 모니터링 유지 관리를 통해 사전 정보나 토지이용적 측면에서의 제한이나 법적 규제 또한 마련되어 있다. 국내에서도 다양한 방면에서 산사태 및 토사재해에 대한 연구가 진행되고 있지만, 공학적 측면과 디자인의 융합을 요하는 연구의 분야의 연구는 아직까지는 생소하게 여겨진다. 그러나 본 연구를 통해서 도시 관리적 차원에서의 분석을 위한 정량적 분석의 결과를 거시적으로 살펴보고 도시공간에 필요한 방재시설을 제안할 수 있었다. 기술의 규모와 배치를 선정하는 타당성으로 예측치가 근거가 될 수 있었다.

연구의 한계점으로는 강우량을 산정하는 과정에서 누적강우시간을 일괄적으로 일강우라는 24시간에 한정하여 고려했기 때문에, 강우의 특성을 정확하게 반영하는 데에는 무리가 있었다. 세밀한 결과를 요구하는 연구에는 기존 다양한 영역에서 사용되고 있는 RUSLE, USLE와 같이 토양의 성질과 특성을 구체적으로 고려하는 방법론이 더욱 폭넓게 고려될 필요가 있다.

향후 연구에서는 토사 재해가 도시 생활권에 미칠 수 있는 영향에 대해, 다양한 토사재해 형태와 요인들을 고려한 연구가 진행되었으면 한다. 또한, 산사태나 토석류와 같은 대형 재난으로 이어질 수 있는 유출량의 임계치에 대한 기준이 정해져 있지 않다. 따라서 유출량의 위험도를 산정하는 기준에 대해 명확한 기준을 설정하여 추후 정책적 학술적 차원의 고찰이 추가적으로 이루어질 수 있기를 기대한다.

## 참고 문헌

- Djoukbala, O. et al. (2018). Estimating of water erosion in semiarid regions using RUSLE equation under GIS environment. *Environmental Earth Sciences*, 77(9), 1–13.
- Chen, T., Niu, R., Li, P., Zhang, L., & Du, B. (2011). Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: A case study in Miyun Watershed, North China. *Environmental Earth Sciences*, 63(3), 533–541.
- Choi, B. (2016). Analysis of the adequacy check dam according to soil loss using rusle. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 34(5), 515–524.
- Demirci, A., & Karaburun, A. (2012). Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: A case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 66(3), 903–913.
- Farhan, Y. & Nawaiseh, S. (2015). Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*, 74(6), 4649–4669.
- Gayen, A., Saha, S., & Pourghasemi, H. (2019). Soil erosion Assessment using RUSLE model and its Validation by FR probability model. *Geocarto International*, 1–15.
- IPCC REPORT. (2014). Intergovernmental panel on climate change
- Jebari, Berndtsson, Olsson, & Bahri. (2012). *Soil erosion estimation*

- based on rainfall disaggregation. *Journal of Hydrology*, 436–437, 102–110.
- Lee, C., & Chung, J. (2017). A Study on Development of the Housing Guidelines for Climate Change Response – Focused on Extreme Heat and Heat Island Effect. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 33(4), 77–89.
- Lisboa, E., Blanco, C., Maia, R., & Bello, L. (2017). A stochastic estimation of sediment production in an urban catchment using the USLE model. *Hydrological Sciences Journal*, 62(15), 2571–2586.
- Markose, V. & Jayappa, J. (2016). Soil loss estimation and prioritization of sub-watersheds of Kali River basin, Karnataka, India, using RUSLE and GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(4), 1–16.
- Prasannakumar, V et al. (2011). Spatial prediction of soil erosion risk by remote sensing, GIS and RUSLE approach: A case study of Siruvani river watershed in Attapady valley, Kerala, India. *Environmental Earth Sciences*, 64(4), 965–972.
- Somprasong, K., & Chaiwiwatworakul, P. (2015). Estimation of potential cadmium contamination using an integrated RUSLE, GIS and remote sensing technique in a remote watershed area: A case study of the Mae Tao Basin, Thailand. *Environmental Earth Sciences*, 73(8), 4805–4818.
- Stancanelli, Peres, Cancelliere, & Foti. (2017). A combined triggering–propagation modeling approach for the assessment

- of rainfall induced debris flow susceptibility. *Journal of Hydrology*, 550(C), 130–143.
- Tang, Qing, Xu, Yong, Bennett, Sean J., & Li, Yang. (2015). Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: A case study of the Yangou watershed in the Loess Plateau, China. *Environmental Earth Sciences*, 73(4), 1715–1724.
- Teng. et al. (2018). Current and future assessments of soil erosion by water on the Tibetan Plateau based on RUSLE and CMIP5 climate models. *Science of the Total Environment*, 635, 673–686.
- Woo, C. et al. (2014). Landslide Hazard Prediction Map Based on Logistic Regression Model for Applying in the Whole Country of South Korea. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 14(6), 117–123.
- D. Cha et al. (2016). Future changes in summer precipitation in regional climate simulations over the Korean Peninsula forced by multi-RCP scenarios of HadGEM2-AO. *Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 52(2), 139–149.
- Zerihun et al. (2018). Assessment of soil erosion using RUSLE, GIS and remote sensing in NW Ethiopia. *Geoderma Regional*, 12, 83–90.
- Xu Zhen et al. (2011). GIS를 이용한 기후변화에 따른 산사태 취약성 평가. *한국기후변화학회지*, 2(1), 43–54.
- 강신향. (2015). 산사태 및 토석류 발생지점에서의 지형학적 특성 차이 분석. 1. *한국방재학회 논문집*, 15(2), 249–258.
- 건설교통부. (2002). 하천설계기준.

- 권혁춘. (2007). GIS와 AHP기법을 이용한 제주도 산사태 취약성분석. *대한토목학회 학술대회*, 2007(10), 2841-2844
- 김경훈 외. (2016). 토사재해 저감을 위한 계획기법 및 지구단위계획시행지침에 관한 연구. *한국방재학회논문집*, 16(6), 145-155.
- 김근영, 이창우, 우충식, & 박근오. (2013). 산지토사재해 인문사회적 피해강도 기준 개발을 위한 지역주민의 산사태 방재사업 인식에 대한 연구. *한국재난정보학회*, 9(3), 347-357.
- 김동엽. (2013). 물리기반 모델을 이용한 광역규모의 산사태 발생 가능성 평가(농학 박사), *서울대학교 대학원*, 대한민국
- 김만식. (2002). GIS와 RUSLE 기법을 이용한 삼교호유역의 토사 유실량 산정. *한국지반환경공학회*, 3(4), 19-27.
- 김영은, & 신상영. (2017). 국내·외 사례분석을 통해서 본 토사재해 방지제도 연구. *대한건축학회 학술발표대회 논문집*, 37(2), 1239-1244.
- 노경수, 전기웅, Ro, Kyung Soo, & Jeon, Ki Woong. (2016). 토석류 특성을 고려한 유도수로 검토. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 16(3), 265-269.
- 민병근, 강인준, 박동현, & 김병우. (2013). 지형요소와 AHP를 활용한 산사태취약지역 선정. *한국측량학회지*, 31(61), 431-437.
- 서울특별시. (2002). 상습침수해소를 위한 하수도시설기준 재검토.
- 심우진. (2018). 토양침식모형의 국내 적용가능성 평가. *대한지리학회지*, 53(1), 1-18.
- 양인태. (2007). GIS를 이용한 강우조건에 따른 산사태 취약지 평가. *대한공간정보학회지*, 15(1), 39-46.

- 윤홍식 et al. (2009). GIS 기법 및 발생자료 분석을 이용한 산사태 위험지도 작성. *한국지리정보학회지*, 12(4), 59.
- 이기철 외. (1998), GIS를 이용한 산불 진화용 저수탱크 적지 분석에 관한 연구, *한국지리정보학회지*, 1(2), 1
- 이기하, 오세욱, & 배우석. (2013). 산사태 대응과 관련된 제도 및 기술의 연구진행 현황. *지반환경학회*, 14(3), 30-39.
- 이병재, 김원현, 김재호, & 심우배. (2015). 방재지구의 현황과 제도개선 방안에 관한 연구. *국토계획학회*, 50(4), 227-242.
- 이상혁 외. (2016). 베이지안 확률통계와 GIS를 연계한 기후변화 도시홍수 리스크 평가: 서울시 서초구를 대상으로. *한국지리정보학회지*, 19(4), 36-51.
- 이환길 외. (2011), 산사태 예측기법에 대한 비교, *한국지형공간정보학회 학술대회*, 2011(5), 247-248
- 전재원, 오채연. (2012). GIS 기반 확률론적 기법을 이용한 산사태 및 토석류 위험지역 분석, *한국안전학회지*, 27(6), 172.
- 조선일. (2016). 네트워크분석을 활용한 도시 재난관리 연구. *사회과학연구*, 27(1), 291-309.
- 차경섭. (2004). Prediction of Potential Landslide Sites Using the Multicell Technique and the Landform Index. *한국농공학회 학술대회초록집*, 2004, 62.
- 최형선 외. (2013). 도시지역 토사재해의 인문사회적 위험 등급 도출 - 예상 인명피해를 중심으로. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 13(5), 203-210.
- 함대현, & 황석환. (2014). 산사태 유발강우 분석을 통한 산사태 예보기준의 적정성 검토. 1. *한국방재학회 논문집*, 14(3), 299-310.

차성은 외. (2018). 수도권 집중호우에 따른 산사태 발생 위험지역 분석.

*대한공간정보학회지*, 26(3), 3-11.

환경부, 도로 비점오염저감시설 설치 및 관리지침, (2015). 2015(6)



## [부 록]

## 부록 1. 방재 기술의 유형

토사 재해는 그 피해 범위가 산지와 인접 정도와 건물 및 토지 용도와 밀접한 관련을 가지므로 산지와 도심지의 공간 관계에 따라 공간 범위별 방재시설을 정의할 필요가 있다. (Lee, 2015)

산지로부터 발생하는 토사의 유출 저감에는 토사 자체의 이동 차단과 지표로의 유출 강우를 저감하는 두 가지 목적이 있다. 따라서 그 저감기술들을 각각 그 목적과 형태에 따라 구분하였다.

산지 사방의 경우, 크게 기초공사, 녹화공사, 산사태 예방공사로 분류되며 산사태 예방공사에는 목적과 형태에 따라 지표수 배제공사, 지하수 배제공사, 토압처리공사, 암괴처리공사로 구분한다. 야계 사방의 경우 크게 계류보전사업, 사방댐, 수질관리시설로 나뉘어 진다. 이외에도 생활사방으로 생활권에 가까운 지역의 비탈면을 시공을 통한 안정화 공사가 있다.

토사재해 관련 기술들이 지진, 땅밀림, 홍수 등과 같이 타 재해를 예방하는 기능을 겸하고 있는 경우가 대다수이기 때문에, 본 연구에서는 최종 연구 내용에서 다룰 방재 기술들을 중점으로 살펴보고자 하였다. 부가적인 기술과 자세한 설명은 부록에 수록하였다.

산림청에서는 개별 방재기술들의 설치 가이드라인을 일부 제공하고 있으나, 기술이 장소의 특성에 구애를 많이 받는다는 특성 때문에 구체적인 제안은 미비한 상황이다.

즉, 기후 변화 정도에 따라 가중될 수 있는 위험에 대해 예측하고 이를 제시하려면, 일정한 배치와 규모에 대한 가이드라인이 제시되어야 함을 시사한다.

## 부록 2. 유형화

각 방재기술의 설치 특성에 따라서 지점을 분류하였다. 거시적 측면에서 기술의 설치여부를 판단하기 위해 가장 일반적인 공법의 시공 지점을 파악하여 재분류하였다.

표 11 산지 사방기술의 유형 및 설치지점 유형화

기술의 유형		설치 지점 (산지)
사방댐	일반사방댐 (콘크리트사방댐)	하상 구배가 큰 계곡부
	투과형 슬릿트 사방댐	계곡 상류
	투과형 버트리스 사방댐 (ex. 스크린댐)	토석의 이동이 예상되는 계류
계류보전	골막이(구골막이)	산복 골에서 침식에 의한 비탈면 붕괴 위험성이 있는 곳, 경사가 급한 계류 상부
	바닥막이	계상이 낮아질 위험이 있는 지역 과 지류가 합류되는 지역 하류
침사지		토사유출부의 하류
돌림수로내기		지표수의 배수 방향의 변경이 필요한 곳

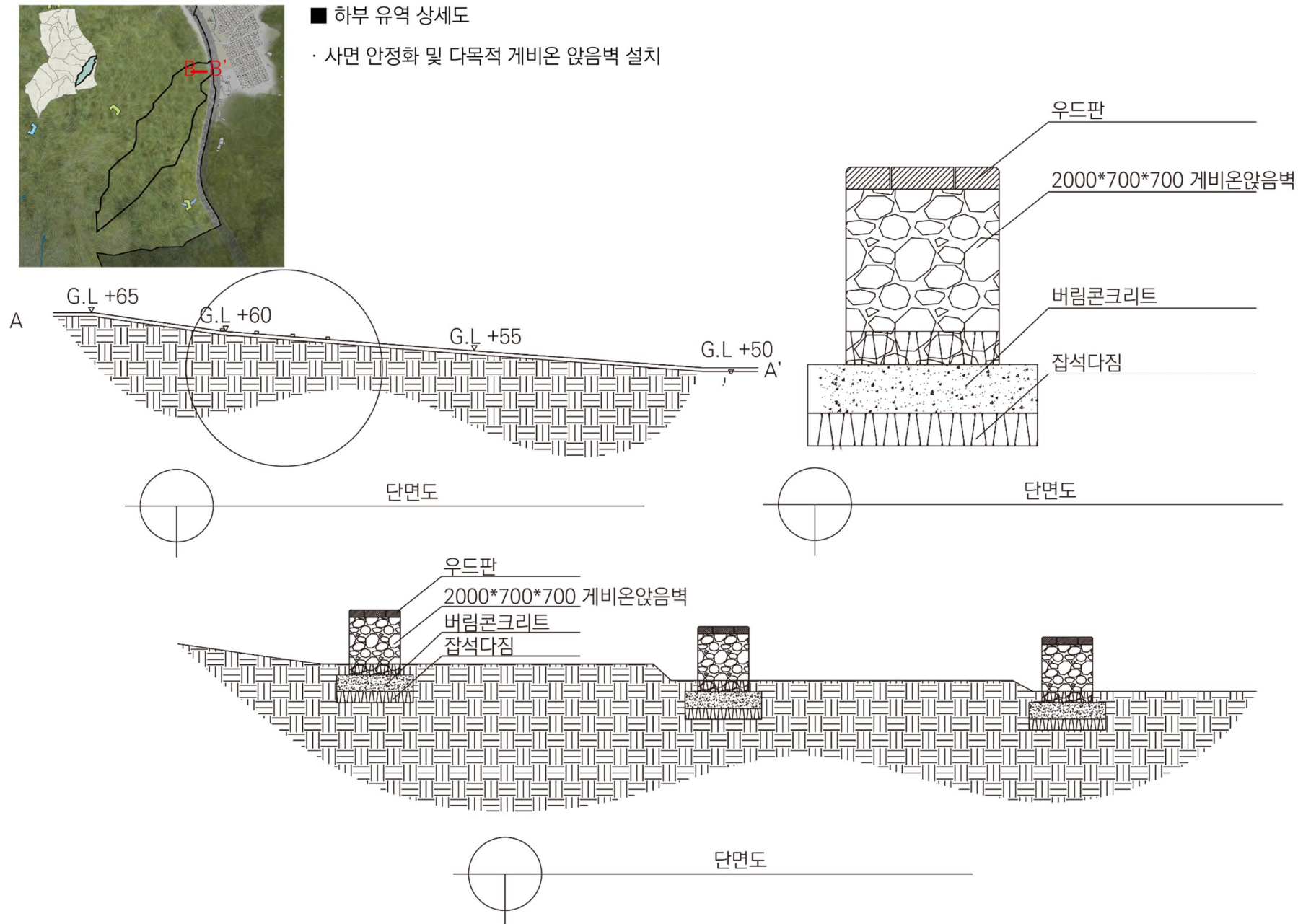
통용적으로 사용되는 콘크리트 사방댐의 경우, 하상 구배가 큰 산지의 계곡부에 설치한다. 규모 자체가 크기 때문에 다른 방재 기술에 비해 유역 내에서 감당하는 성능이 훨씬 크다. 이 때문에, 토석류의 발생 시

작점인 산지의 상부에 설치하여 하부로까지의 토사와 유출수가 빠르게 흘러가지 않도록 해야한다. 따라서 상부에 콘크리트 사방댐이 있을 경우 규모를 함께 고려하여 계류에 설치되는 세부 보전 기술의 길이를 정하고, 연계 기술을 배치한다. 즉, 다른 기술의 설치 의사 결정에 상호적이다. 하부 계곡을 따라 계류수의 유속을 감소시키면서 비교적 소규모로 골막이와 바닥막이 공법을 연계하여 시공한다.

콘크리트 사방댐과는 달리, 슬릿트나 버트리스와 같은 투과형 사방댐은, 입경이 큰 토석은 저지하고 입경이 작은 토사가 빠져나가게 하기 때문에 적당한 양의 토사를 유하시키는 양적 배분 기능이 있다(Oh and Jun, 2016). 때문에 유량 피크가 관측되는 지점에 설치하는 것이 좋다(jun, 2018).

침사지는 유출수를 일정시간 저류하여 부유사가 침전된 상층수만을 배출시켜서 토사를 저감한다. 때문에 유출수의 유입으로부터 하류 지점에 설치하여야 한다. 만약 유출 지표수의 방향이 계곡과 달리 흘러간다면 돌림수로를 내어 유수의 방향을 정비하여서 상부로부터 가중된 위험요소가 직접적으로 피해를 입히는 영향을 줄일 수 있다.

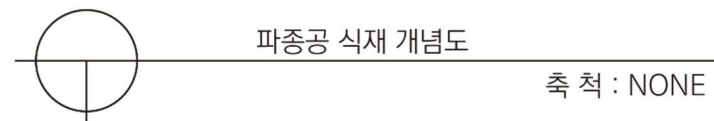
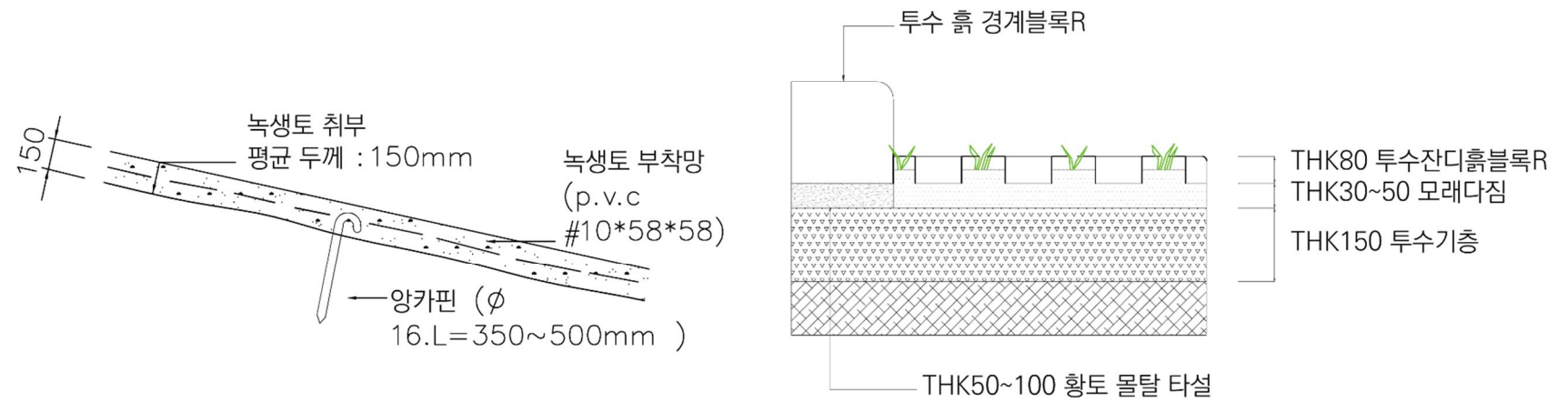
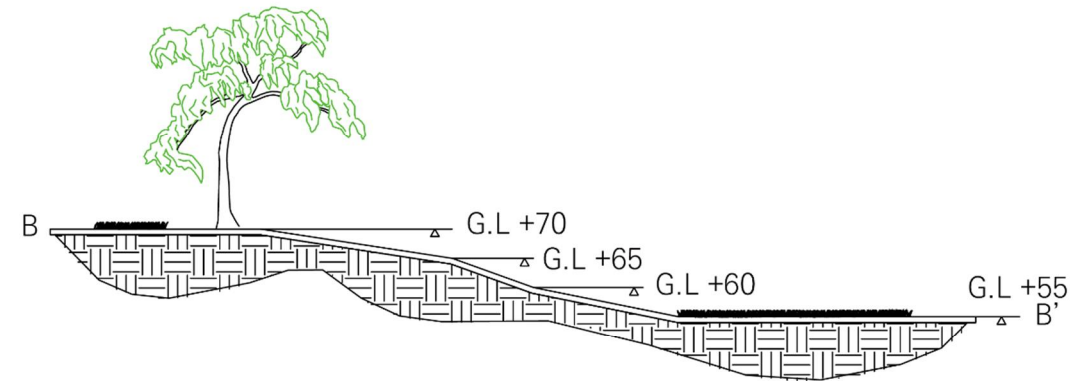
부록 3.1. 유역 기술배치 상세도



### 부록 3.2.유역 기술배치 상세도



■ 하부 유역 상세도  
· 사면 안정 녹화 기법

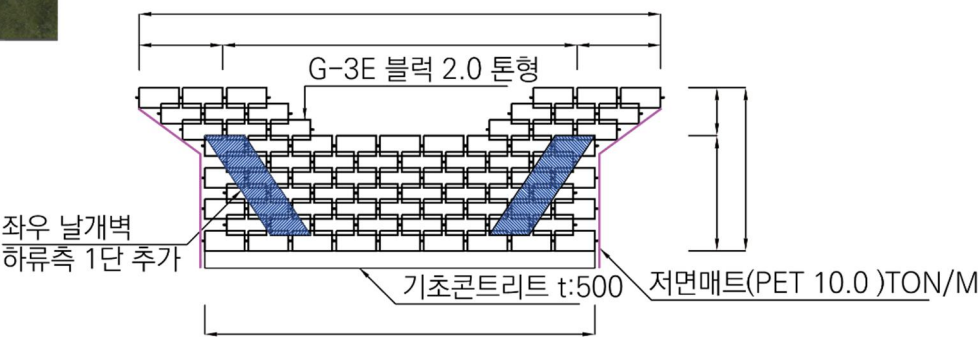


부록 3.3. 유역 기술배치 상세도



■ 하부 유역 상세도

· 사면 안정화 소규모 댐 조성



블럭수량 산출

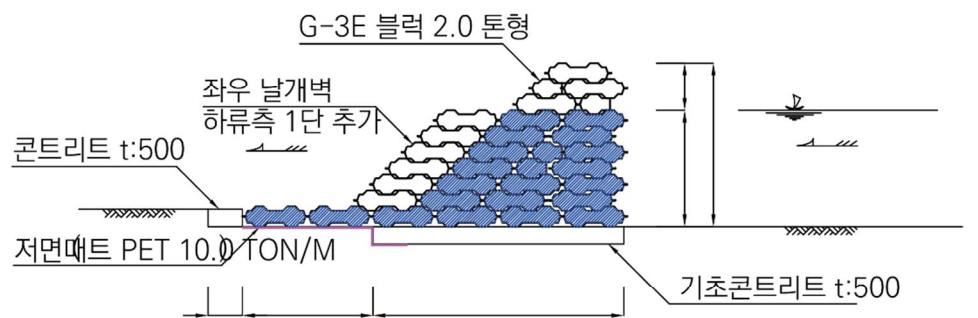
1단	9	X	6	=	54
2단	8	X	3	=	24
3단	9	X	3	=	27
4단	8	X	2.5	=	20
5단	9	X	2.5	=	22.5
6단	8	X	2	=	16
7단	9	X	2	=	18
8단	6	X	1.5	=	9
9단	6	X	1.5	=	9
10단	6	X	1	=	6
좌우 날개	6	X	2	=	12
계				=	217.5

저면매트수량 산출

바닥	5.3 X 11.4 =	60.4
법면	5.6 X 6.3 =	35.3 X 좌.우 = 70.6
계		131 M <sup>2</sup>

콘크리트수량 산출

기초	9.2 X 11.4 X 0.5 =	52.4
하류	1.0 X 11.4 X 0.5 =	5.7
계		58 M <sup>3</sup>



# Abstract

## Spatial Analysis and Design of Disaster Prevention Technologies for Urban Landslide Risky Areas

JEON HYE JI

College of Engineering,  
Interdisciplinary Program in Urban Design  
The Graduate School  
Seoul National University

The 5th Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report published in 2014 has attracted attention to adaptive forecasting and preparedness for extreme weather events due to climate change. Soil disasters which seriously increase the risk in terms of rainfall, known as an external factor causing an actual occurrence, is becoming larger due to climate change. This suggests that in order to prevent the occurrence of a sudden large-scale earthquake, it is necessary to forecast the damage appropriately and prepare adaptive measures in advance.

In this study, the rainfall which is increasing according to the exponentially changing climate behavior was considered as the main cause of the soil-disaster. The purpose of this study is to investigate the pattern of soil metamorphosis according to the climate change and to propose the layout design of resilient disaster prevention technology in recovery considering the effect of the



mountainous soil runoff on the living areas.

The spatial scope of the study is 'Namhyeon-dong, Gwanak-gu, Seoul, Korea', where is located between the Gwanak Mountain and the Woomyun mountain. The area is lowland due to the high surrounding mountains. The analysis was carried out by suggesting a master plan design using the rational formula, which is advanced in the soil runoff, employing the annual rainfall amount and land use.

The rainfall data used in the analysis was obtained from observations at the Namhyeon - dong Observatory adjacent to the site. There's no database of the Namhyeon-dong, the sediment outflow coefficients were derived from the average measurements of the last three years of Busan City and Sejong City where have a similar situation to the site. The standard for climate change was calculated based on 10-year forecasts in the period from 2021 to 2100. It was assumed that the disaster should be changed at the present level without any adaptation which is the RCP 8.5 level proposed by the IPCC. Accordingly, the disaster prevention technology was developed for each catchment with respect to the volume of soil. The catchment was analyzed with the Arc Hydro as an ArcGIS plug-in.

As a result, a total of 22 catchments including eighteen catchments located in Namhyeon-dong and four catchments overlapped with Bangbae - dong, Seocho-gu was analyzed. The analyzed catchments were divided into upper, middle, lower part including living part according to mountain elevation and slope aspect. Moreover, they divided into eight upper part, four middle

parts, and five lower parts. As a result of examining the total runoff from individual catchments using the RCP 8.5 climate change route based on the Namhyeon-dong, Gwanak-gu, Seoul Metropolitan Government Climate Change Center, the soil runoff continuously increased from 2021 to 2100. It is predicted that the highest runoff of 1,808.8  $m^3$  from the entire catchment will be seen from the year 2060. Besides, the relatively greatest outflow will be observed in the upper area since the upper part of the mountain area has the same geographical feature and the outflow ratio is larger than other uses.

Having the design aims, which were set based on the extreme value of the disaster, the technology layout was proposed in a detailed master plan considering the soil-run off of each catchment. In the upper part of the mountain area, the need for a protective facility such as an erosion control dam is felt due to a large amount of soil run-off. The middle part requires technology that can reduce the velocity of the soil-flow. In the lower part of the mountain area, to preserve aesthetic values for the living zone nearby, afforestation is suggested. If the proposal is applied, it can prevent the disaster at the period of 2051 ~ 2060, which is predicted to be the highest risk of the soil disaster up to 2100.

The most significant implications of the current study are; 1) the possibility of forecasting a disaster widely in the catchment area not only in the mountainous region but also in the vicinity to the living area, 2) the prediction of the amount of soil disaster which may occur in terms of the climate change for the objective point of a

long period, and 3) the design guideline of the disaster prevention technology can be practically and visually implemented and presented by considering the predicted amount of soil-runoff.

The meaningful outcome and novelty of this study are analyzing and quantifying the damage caused by the soil-disaster in terms of adaptation to the urban design level through the engineering methodology. However, since this study combined urban design and civil engineering field, a detailed design of the soil erosion methodology was not quantified and the know-how for comprehensive applications of the research methodology was not designed. Future studies are required applying the advanced soil-runoff prediction techniques and detailed evidence-based disaster urban design considering various climate change scenarios.

**Keywords:** Climate Change, Soil Run-off Disaster, Urban Design,  
Disaster Adaptation, ArcGIS, RCP8.5

**Student Number:** 2017-28348